

**ROSA MARIA SAUNITTI**

**ESTUDOS SOBRE A EROÇÃO NA BACIA E ASSOREAMENTO DO RESERVATÓRIO DO  
RIO PASSAÚNA, CURITIBA (PR)**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção de grau de mestre em Geologia Ambiental – Área Recursos Hídricos, curso de Pós-Graduação em Geologia Ambiental do Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Alberto Fernandes  
Co-orientador: Prof. Dr. André Virmond Lima  
Bittencourt

**CURITIBA  
2003**

#### FICHA CATALOGRÁFICA

Saunitti, Rosa Maria

Estudos sobre a erosão na bacia e assoreamento do reservatório do rio Passaúna, Curitiba. Paraná. 2003.

Dissertação de mestrado – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra.

1. Geologia 2. Transporte de Sedimentos

I. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências da Terra



# TERMO DE APROVAÇÃO

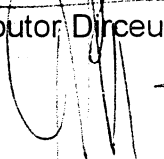
Rosa Maria Saunitti

## **“ESTUDOS SOBRE A EROSÃO NA BACIA E ASSOREAMENTO DO RESERVATÓRIO DO RIO PASSAÚNA, CURITIBA”**

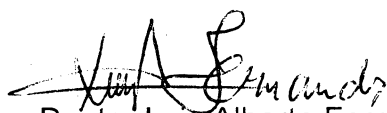
Dissertação de Mestrado aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de mestre no curso de pós-graduação em Geologia, área de concentração em Geologia Ambiental, da Universidade Federal do Paraná, Comissão formada por:



Professor Doutor Dirceu Pagotto Stein -



Professor Doutor Rodolfo José Angulo - UFPR



Professor Doutor Luiz Alberto Fernandes - UFPR  
Presidente

Curitiba, 15 de agosto de 2003.

***Dedico este trabalho às  
pessoas que me amam.***

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para realização deste trabalho.

À Sanepar e a UFPR pela oportunidade de dedicação a este tema.

Aos colegas da Sanepar Marcio Borcoski, Marcos Aurélio Dvorak, Hélcio Miguel Kricky, Sérgio Aparecido de Oliveira, Ovande José Magalhães, Hélio Bochnie, Nelson Mori, Glaucia Jane Lara Souza, Hélio Isamu Kitamura, Carlos Alberto Moravski, Cleverson Vitorio Andreoli, que além do incentivo, emprestaram equipamentos, colocaram equipes de apoio à disposição e dedicaram parte de seu precioso tempo a me ajudar.

Aos profissionais Gil Polidoro, Marcia Lima e Gerson Luiz Ferreira (COMEC); Cesar A. Ferreira de Menezes (CONSILIU); Edson José Manasses e Osneri Roque Andreoli (Sudersha); Rui Biscaia, Ronaldo Lazari Rufino e Maria Balbina (IAPAR); Oscar Salazar Junior (MINEROPAR); Edinei Bueno do Nascimento (EMATER); Luiz Antônio Pereira de Souza (IPT); Abílio Andraus Neto (GEA - Geologia e Engenharia Ambiental Ltda.); pela confiança depositada neste estudo, pelo repasse de informações e conhecimentos técnicos.

À Rafaela Traversolli Costa, Renata Traversolli, Richard Ivansky Cunha, Maurício Alexandre Maas, Édina Leoni da Silva, Thiago Rodrigues Saunitti, Sandro Rafael Luz e Sérgio Cambri pela inestimável ajuda na digitação e impressão de textos, mapas, figuras e fotos.

Aos então alunos de graduação em geologia Michael de Mello Oliveira, Tiago Rossi, Flavia Fernanda de Lima, Bruno Catto, pelo auxílio na descrição das amostras e nas análises em laboratório.

À Sarita Pavin e Maria Cristina de Souza pelas sugestões e apoio.

Aos mestrados Lydio Odreski e Claudete M. Percebon pelo incentivo, amizade e colaboração.

Aos professores da UFPR Glaucio Roloff e Luciano de Almeida (Ciências Agrárias), Carlos Roberto Soares (Centro de Estudos do Mar), José Manoel dos Reis Neto, Fernando Mancini e Rodolfo José Angulo (Geologia), pela ajuda na solução das dúvidas e sugestões.

Aos policiais do corpo de bombeiros da polícia militar do Paraná, de São José dos Pinhais, pela colaboração na coleta das amostras;

Em especial à Luiz Antonio Pereira Souza (LAPS) pelo empréstimo de equipamentos, pelo levantamento de sonografia e repasse de conhecimento sobre o assunto.

Ao meu orientador Prof. Dr. Luiz Alberto Fernandes e Co-orientador Prof. Dr. André Virmond Lima Bittencourt por terem aceito o desafio de orientar uma Engenheira Civil, pelos caminhos da geologia, encontrando tempo e disposição para elevar o nível deste trabalho;

A Antonieta Costa da Costa e Thiago Rodrigues Saunitti pelo carinho, apoio e amizade.

Obrigada!

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES E FOTOS.....</b>	<b>VII</b>
<b>LISTA DE TABELAS E QUADROS.....</b>	<b>XIII</b>
<b>LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS.....</b>	<b>XIV</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>XVI</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>XVII</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>2</b>
2.1 OBJETIVO GERAL.....	2
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
<b>3. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>3</b>
3.1 LOCALIZAÇÃO.....	3
3.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E AMBIENTAIS DA ÁREA DE ESTUDO.....	3
3.2.1 Clima.....	3
3.2.2 Pluviosidade.....	4
3.2.3 Geologia.....	4
3.2.4 Geomorfologia.....	7
3.2.5 Pedologia.....	11
3.2.6 Rede hidrográfica.....	11
3.2.7 Qualidade da água.....	15
3.2.8 Meio biótico.....	16
3.2.8.1 Histórico.....	16
3.2.8.2 Classificação da vegetação.....	17
3.2.8.2.1 Campos naturais.....	17
3.2.8.2.2 Região da floresta ombrófila mista.....	19
3.2.8.2.3 Sistema de vegetação secundária.....	19
3.2.8.2.4 Uso da terra para silviagropecuária.....	20
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>21</b>
4.1 CONSIDERAÇÕES HISTÓRICAS.....	21
4.2 ROTEIRO DE PESQUISA.....	22
4.3 MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS.....	23
4.3.1 Reconhecimento da área da bacia hidrográfica a montante da barragem.....	23
4.3.2 Caracterização visual do fundo do reservatório com aplicação de sonografia.....	25
4.3.2.1 Método de investigação indireta por sonografia.....	25
4.3.2.2 Levantamento de dados.....	28
4.3.3 Determinação do potencial erosivo da bacia hidrográfica.....	28
4.3.3.1 Equação de perdas de solo.....	32
4.3.3.2 Equação Universal de Perdas de Solo – USLE.....	33
4.3.3.2.1 Fator erosividade das chuvas – R.....	33
4.3.3.2.2 Fator erodibilidade do solo – K.....	34
4.3.3.2.3 Fator topográfico – LS.....	37
4.3.3.2.4 Fator uso e manejo do solo e prática conservacionista – CP.....	38
4.3.3.2.5 Perda média anual de solo para a bacia hidrográfica.....	41

4.3.4 Análise granulométrica dos materiais inorgânicos e análise do teor de matéria orgânica das amostras do fundo do reservatório.....	41
4.3.4.1 Coleta das amostras de sedimentos da superfície do fundo com amostrador <i>tipo box corer</i> .....	41
4.3.4.2 Ensaio granulométrico.....	42
4.3.4.3 Cálculo dos parâmetros estatísticos das distribuições granulométricas.....	44
4.3.4.4 Análise estatística dos resultados de análises granulométricas.....	45
4.3.5 Caracterização dos sedimentos de fundo com testemunhos verticais.....	48
4.3.5.1 Coleta de material sedimentar de fundo com testemunhador vertical.....	48
4.3.5.2 Análise de material sedimentar inconsolidado de testemunhos verticais.....	49
4.3.6 Fontes potenciais contribuintes para a produção sedimentar na bacia hidrográfica do reservatório Passaúna.....	50
4.3.6.1 Leitura do espaço na área da bacia hidrográfica.....	52
4.3.6.2 Leitura do espaço nas margens do reservatório do rio Passaúna.....	55
<b>5. RESULTADOS</b> .....	57
5.1 CLASSIFICAÇÃO DE ÁREAS SEGUNDO O POTENCIAL EROSIVO.....	57
5.2 ANÁLISE DO FUNDO DO RESERVATÓRIO.....	74
5.3 CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL INCONSOLIDADO DO FUNDO.....	83
5.4 FONTES CONTRIBUINTES NA PRODUÇÃO DE MATERIAL SEDIMENTAR.....	89
<b>6. DISCUSSÃO</b> .....	94
6.1 QUANTO AO POTENCIAL EROSIVO DA BACIA HIDROGRÁFICA.....	94
6.2 QUANTO ÀS ÁREAS-FONTE DE CONTRIBUIÇÃO.....	97
6.3 QUANTO AO ASSOREAMENTO NO RESERVATÓRIO.....	100
<b>7. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES</b> .....	103
7.1 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	105
7.2 AÇÕES A SEREM TOMADAS.....	106
7.3 SOBRE O OBJETIVO DESTA DISSERTAÇÃO.....	108
REFERÊNCIAS.....	110
LISTA DE APÊNDICES E ANEXOS.....	118

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 3.1	- Localização do reservatório e da bacia hidrográfica do rio Passaúna.....	3
Figura 3.2	- Geologia da bacia hidrográfica do reservatório Passaúna. Fonte: CPRM (2000)	5
Figura 3.3	- Mapa dos solos da área da bacia hidrográfica do reservatório Passaúna. Fonte: IAPAR (1981) .....	12
Figura 3.4	- Compartimentação e pontos de monitoramento da qualidade da água do reservatório. Fonte: Cobrape (2000) .....	13
Figura 3.5	- Localização dos loteamentos e ocupações levantadas para atualização do Zoneamento Ecológico-Econômico do APA do Passaúna, na área da bacia hidrográfica do reservatório Passaúna. Fonte: Cobrape (2000) .....	18
Figura 4.1	- Fluxograma das atividades realizadas neste estudo .....	24
Figura 4.2	- Roteiro de sonografia com indicação dos pontos de coleta de amostra do fundo e de testemunhos verticais .....	26
Figura 4.3	- A) Seção representativa da posição dos equipamentos (barco e transdutor) e indicação da área de varredura lateral da imagem na aplicação da sonografia para o fundo do reservatório, B) Esquema em planta, representativo da posição dos equipamentos (barco e transdutor) e indicação da área de varredura lateral da imagem na aplicação da sonografia para o fundo do reservatório. Fonte: Souza (1988) .....	27
Figura 4.4	- Índice de erosão das chuvas, valores médios anuais, em $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ do índice de erosão da chuva do estado do Paraná, 1972-89. 3ª aproximação. Fonte: Rufino (1993) .....	35
Figura 4.5	- amostrador em caixa, <i>Box Corer</i> : A) aberto preparado para a coleta; B) fechado após coleta do material .....	42
Figura 4.6	- Etapas da quantificação do teor de matéria orgânica das amostras: A) queima da matéria orgânica com peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ - 50 volumes); B) secagem das amostras em estufa após oxidação da matéria orgânica.....	43
Figura 4.7	- Testemunhador utilizado na coleta de sedimentos de fundo. É composto por ponteira de aço, corpo em PVC (amostrador), e parte traseira metálica com haletas, em ferro fundido .....	49
Figura 4.8	- Descrição textural do material sedimentar inconsolidado do fundo do reservatório coletado com testemunhador vertical .....	51
Figura 4.9	- Leitura do espaço nas margens do reservatório do Passaúna, levantamento realizado em novembro de 2002 .....	56
Figura 5.1	- Classificação dos solos e fator K correspondente, para a bacia hidrográfica do reservatório Passaúna .....	59
Figura 5.2	- Mapa de declividade e fator LS correspondente, para a bacia hidrográfica do reservatório Passaúna .....	60
Figura 5.3	- Categoria de uso e manejo de solo e prática conservacionista e fator CP correspondente, ano 2000, para a bacia hidrográfica do reservatório Passaúna ....	61
Figura 5.4	- Categoria de uso e manejo de solo e prática conservacionista e fator CP	

	correspondente, ano 1991, para a bacia hidrográfica do reservatório Passaúna.....	62
Figura 5.5	- Classes de potencial erosivo obtido da Equação Universal de Perdas de Solo – USLE, ano 2000, para a bacia hidrográfica do reservatório Passaúna .....	63
Figura 5.6	- Classes de potencial erosivo obtido através da Equação Universal de Perdas de Solo- USLE, ano 1991, para a bacia hidrográfica do reservatório Passaúna .....	64
Figura 5.7	- Croqui esquemático do fundo do reservatório do rio Passaúna nas fases pré-enchimento e pós enchimento.....	74
Figura 5.8	- Interpretação da imagem de sonografia do trecho próximo das estações 751 e 791.....	75
Figura 5.9	- Interpretação da imagem de sonografia do trecho próximo das estações 1971 e 2001 .....	76
Figura 5.10	- Interpretação da imagem de sonografia do trecho próximo das estações 1111 e 1141 .....	77
Figura 5.11	- Gráfico representativo dos teores percentuais de matéria orgânica das amostras coletadas de material inconsolidado do fundo do reservatório .....	78
Figura 5.12	- Material coletado com testemunhador vertical n.º 6 e 11, compostos por sedimentos pelíticos, matéria orgânica (com restos vegetais preservados) e porção composta por grânulos e seixos subangulosos de tamanho milimétricos a centimétricos (1,2 a 1,5 cm) de provável composição feldspática .....	79
Figura 5.13	- Perfil característico dos testemunhos verticais coletados nos pontos n.º 4, 5, 6, 7, 11 e 12, localizados próximo a antiga área de empréstimo de material para a construção da barragem, na margem direita do reservatório .....	80
Figura 5.14	- Perfil característico dos testemunhos verticais coletados nos pontos n.º 8, 14 e 46, localizados na área mais interna do reservatório, próximo ao antigo canal principal do rio Passaúna .....	81
Figura 5.15	- Perfil característico dos testemunhos verticais coletados nos pontos n.º 40, 41, 42 e 45, localizados em pontos próximos a taludes expostos ao longo das margens do reservatório .....	82
Figura 5.16	- Perfil característico dos testemunhos verticais coletados nos pontos n.º 16 e 17, localizados em pontos próximos a contribuição de tributários .....	82
Figura 5.17	- Gráfico do resultado das análises granulométricas, de acordo com a escala qualitativa sugerida por Folk e Ward (1957), para a descrição do grau de seleção ( $\sigma_1$ ) das 44 amostras do material inconsolidado coletado do fundo do reservatório .....	83
Figura 5.18	- Classes de potencial erosivo através da Equação Universal de Perdas de Solo – USLE do ano 2000, para bacia hidrográfica do Passaúna e mapa da distribuição granulométrica com os valores de diâmetro médio ( $\phi$ ) das 44 amostras coletadas na área do reservatório .....	85
Figura 5.19	- Representação gráfica da composição granulométrica das coletadas do fundo	

	do reservatório n.º 13, 13F, 20, 26, 32, 34 e 38: A) Curvas de frequência acumulada, B) Diagrama de Shepard (1954) .....	84
Figura 5.20	- Representação gráfica da composição granulométrica das amostras coletadas do fundo do reservatório n.º 4, 5, 17, 18, 23, 31, 35, 37 e 41: A) Curvas de frequência acumulada, B) Diagrama de Shepard (1954) .....	86
Figura 5.21	- Representação gráfica da composição granulométrica das amostras coletadas do fundo do reservatório n.º 10, 11, 12, 15, 22, 29, 30 e 45: A) Curvas de frequência acumulada, B) Diagrama de Shepard (1954) .....	86
Figura 5.22	- Representação gráfica da composição granulométrica das amostras coletadas do fundo do reservatório n.º 1, 16, 27, 28, 36 e 44: A) Curvas de frequência acumulada, B) Diagrama de Shepard (1954) .....	86
Figura 5.23	- Representação gráfica da composição granulométrica das amostras coletadas do fundo do reservatório n.º 2, 6, 8, 9, 14, 19, 21, 24, 42 e 43: A) Curvas de frequência acumulada, B) Diagrama de Shepard (1954) .....	87
Figura 5.24	- Representação gráfica da composição granulométrica das amostras coletadas do fundo do reservatório n.º 7, 33 e 39: A) Curvas de frequência acumulada, B) Diagrama de Shepard (1954) .....	87
Figura 5.25	- Representação gráfica da composição granulométrica das amostras coletadas do fundo do reservatório n.º 4, 5, 6, 7 e 11: A) Curvas de frequência acumulada, B) Diagrama de Shepard (1954) .....	87
Figura 5.26	- Representação gráfica da composição granulométrica das amostras coletadas do fundo do reservatório n.º 8, 9, 10, 14, 28, 33, 39 e 43: A) Curvas de frequência acumulada, B) Diagrama de Shepard (1954) .....	88
Figura 5.27	- Representação gráfica da composição granulométrica das amostras coletadas do fundo do reservatório n.º 12, 15, 23, 26, 27 e 30: A) Curvas de frequência acumulada, B) Diagrama de Shepard (1954) .....	88
Figura 5.28	- Representação gráfica da composição granulométrica das amostras coletadas do fundo do reservatório n.º 29, 31, 32, 41, 42, 44 e 45: A) Curvas de frequência acumulada, B) Diagrama de Shepard (1954) .....	88
Figura 5.29	- Representação gráfica da composição granulométrica das amostras coletadas do fundo do reservatório n.º 18, 19, 20, 21 e 22: A) Curvas de frequência acumulada, B) Diagrama de Shepard (1954) .....	89
Figura 5.30	- Representação gráfica da composição granulométrica das amostras coletadas do fundo do reservatório n.º 16 e 17: A) Curvas de frequência acumulada, B) Diagrama de Shepard (1954) .....	89
Figura 6.1	- Associação do potencial erosivo através da USLE, com o tipo de solo e com o uso e ocupação, para a bacia hidrográfica do reservatório Passaúna, do ano 2000	96



## LISTA DE FOTOS

Foto 4.1	- Observam-se aspectos panorâmicos de ocupação urbana, pastagens, lavouras, áreas de matas secundárias, capoeirões e capoeiras. As formas de relevo são o ondulado e forte ondulado. Loteamento Jardim Dona Fina no município de Campo Largo, ao fundo área entre o loteamento e a BR 277 .....	52
Foto 4.2	- Observam-se aspectos panorâmicos de ocupação urbana, lavouras, áreas de matas secundárias, capoeirões e capoeiras. As formas de relevo são o ondulado e forte ondulado. Loteamento Jardim Santa Angela no município de Campo Largo, ao fundo área entre o loteamento e o município de Araucária ...	53
Foto 4.3	- Observam-se aspectos panorâmicos de ocupação urbana, pastagens, áreas de matas com capoeirão, capoeiras e capoeirinhas. As formas de relevo são o ondulado e suave ondulado. Loteamento Planta Vila Torres II no município de Campo Largo, ao fundo o reservatório e vegetação da margem esquerda ....	53
Foto 4.4	- Observa-se a ocupação urbana, pastagens e capoeirões. As formas de relevo são o ondulado e forte ondulado. Loteamento São José do Passaúna no município de Curitiba, ao fundo, no final da rua localiza-se a ocupação irregular .....	54
Foto 4.5	- Talude exposto em área urbana, com ocorrência de processo erosivo, carreamento de material inconsolidado para o reservatório. Parte alta do loteamento Jardim Dona Fina no município de Campo Largo .....	54
Foto 4.6	- Observam-se aspectos panorâmicos de ocupação urbana, pastagens, áreas de matas secundárias O relevo é forte ondulado. Loteamentos Vila Torres e Vila Torres II no município de Campo Largo, contribuição direta no reservatório das águas servidas e material carreado dos loteamentos .....	55
Foto 5.1	- Ponto de lançamento de águas servidas e lixo, de área em encosta com declividade acentuada, em ocupação irregular próximo ao loteamento São José do Passaúna no município de Curitiba. Resultado das interferências antrópicas na área da bacia hidrográfica do reservatório .....	57
Foto 5.2	- Talude exposto. Notar a estrutura do solo da região e o processo erosivo , em curso, com escoamento da camada superficial. Localizado na estrada da Ferraria próximo a ponte sobre o rio Passaúna, no município de Campo Largo	66
Foto 5.3	- Área em encosta com declividade elevada, destituída de vegetação natural, com agricultura (milho) e pastagens. Localizada junto ao reservatório, próximo ao ponto de coleta nº 12, no município de Araucária .....	66
Foto 5.4	- Área junto as margens do reservatório em preparo mecanizado para cultivo	

	agrícola. Notar a declividade acentuada. Local próximo ao ponto de coleta nº 02, no município de Araucária .....	67
Foto 5.5	- Área com cultivo agrícola (tomate), sem combinar práticas de caráter vegetativo. Localizada ao lado de antiga estrada vicinal e próxima a talude exposto com processo erosivo em curso. Área de contribuição de tributário com deságüe no ponto de coleta nº 11, no reservatório, no município de Araucária .....	68
Foto 5.6	- Área com cultivo agrícola (milho), em relevo de baixa declividade, cultivo intercalado com vegetação natural. Localizada em área rural próximo ao loteamento São José do Passaúna, no município de Curitiba, com deságüe na área próxima aos pontos de coleta nº 29 e 32 .....	69
Foto 5.7	- Pode-se observar a ocupação urbana inadequada que ocorre no entorno do reservatório. Loteamento São José do Passaúna no município de Curitiba, e ao fundo loteamentos existentes ao longo da estrada da Ferraria no município de Campo Largo .....	70
Foto 5.8	- Área em talude, declividade acentuada, registra-se queimada recente da mata e da vegetação existente, para cultivo agrícola. Localiza-se no município de Campo Largo, no entorno do reservatório, próximo ao ponto de coleta nº 45 ...	70
Foto 5.9	- Talude instável, exposto, na margem direita do reservatório, com processo erosivo em curso, proteção com muro em concreto e com pneus colocados pelo proprietário da área, situação verificada em vários pontos no reservatório, principalmente no município de Araucária. Este ponto localiza-se próximo ao ponto de coleta nº 13 .....	71
Foto 5.10	- Talude instável, exposto, nas margens de tributário da margem direita do reservatório, com processo erosivo em curso, proteção com pneus colocada pelo proprietário da área, situação verificada em vários pontos no reservatório, principalmente no município de Araucária, em longas extensões no tributário, com deságüe no ponto nº 12 .....	71
Foto 5.11	- Área de empréstimo de material na margem direta do reservatório. Camada superficial com rocha alterada e material solto, ao fundo observa-se antigo trecho de estrada que ligava a área de empréstimo à barragem, próxima a barragem e ao ponto de coleta nº 04, no município de Araucária .....	72
Foto 5.12	- Área desmatada recentemente, encostas com grande declividade, processo erosivo em curso, lançamento de águas servidas, lixo e arraste do material inconsolidado do loteamento ao reservatório. Vista do loteamento Planta Bom	

	jardim, no município de Campo Largo, entre a estrada da Ferraria e o reservatório .....	72
Foto 5.13	- Área com desmatamento recente para implantação de treinamento de hipismo, encosta com grande declividade, atualmente com pastagens, no município de Curitiba, próximo ao ponto de coleta n° 14 .....	73
Foto 5.14	- Pesque e pague com área desmatada recentemente, encosta com grande declividade, construções recentes com lançamento de águas servidas, lixo e arraste do material inconsolidado direto no tributário, que deságua no reservatório, no ponto de coleta n° 12. Localizada na divisa dos municípios de Campo Largo e Araucária .....	73
Foto 5.15	- Vista panorâmica de ocupação urbana inserida em área com vegetação natural. Loteamento Jardim Ipoméia, no município de Campo Largo, localizado na margem direita do reservatório, próximo ao ponto de coleta n.º 39, com vistas ao fundo avista-se o reservatório e o loteamento São José do Passaúna no município de Curitiba .....	90
Foto 5.16	- Talude exposto com processo erosivo em curso, em declividade acentuada, no Jardim Dona Fina, no município de Campo Largo. Margem direita do reservatório, próximo ao ponto de coleta n.º 36 .....	91
Foto 5.17	- Visão panorâmica de ocupação urbana, em área com baixa declividade, junto ao lago. Loteamento Jardim Dona Fina, no município de Campo Largo, localizado na margem direita do reservatório, próximo ao ponto de coleta n.º 36. Ao fundo avista-se o reservatório, a ponte sobre o rio Passaúna na estrada da Ferraria e o loteamento São José Passaúna, no município de Curitiba .....	91
Foto 5.18	- Rua principal do loteamento Vila Gilcy, no município de Campo Largo, localizado na margem direita do reservatório, próximo ao ponto de coleta n.º 37, com material depositado na parte baixa da rua, sendo carregado para o reservatório.....	92
Foto 5.19	- Área preparada para construção de indústria, com talude exposto, na rua Ludovico Kaminski, esquina com rua Abraham Leiser Stier, no município de Curitiba, localizado na margem esquerda do reservatório, próximo ao ponto de coleta n.º 41 .....	92

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1	- Distribuição do material inconsolidado, geomorfologia e unidades geotécnicas na bacia hidrográfica. Fonte: Cobrape (2000) .....	10
Tabela 3.2	- Caracterização da disponibilidade dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Passaúna. Fonte: Cobrape (2000) .....	14
Tabela 3.3	- Vazões mínimas da bacia hidrográfica do reservatório do rio Passaúna. Fonte: Cobrape (2000) .....	15
Tabela 4.1	- Fator LS em função de classe de declividade (Kok et al. 1995) .....	37
Tabela 4.2	- Faixas granulométricas, profundidades de coleta e tempos para análise granulométrica por pipetagem .....	44
Tabela 5.1	- Relação de declividade com percentual de ocorrência na área da bacia hidrográfica .....	58
Tabela 5.2	- Classes de potencial de perda média anual de solo, conforme resultados obtidos do cálculo do valor A para o ano 2000 e o correspondente % de ocorrência na área da bacia hidrográfica .....	65
Tabela 5.3	- Classes de potencial de perda média anual de solo, conforme resultados obtidos do cálculo do valor A para o ano 1991 e o correspondente % de ocorrência na área da bacia hidrográfica .....	65
Tabela 6.1	- Alteração no processo de ocupação e uso do solo na área da bacia hidrográfica entre os anos 1991 e 2000 .....	95
Tabela 6.2	- Espessura da camada e estimativa da taxa de deposição avaliadas através dos testemunhos verticais .....	101

## LISTA DE QUADROS

Quadro 4.1	- Classificação do solo e fator k (prof. G. Roloff, comunicação pessoal 2002) ....	36
Quadro 4.2	- Categorias de ocupação e valores correspondentes de CP estabelecidos por Stein et al. (1987) .....	39
Quadro 4.3	- Categorias de ocupação e valores de CP aplicados para cobertura do solo ano 2000 para a bacia hidrográfica .....	40
Quadro 4.4	- Categorias de ocupação e valores de CP aplicados para cobertura do solo ano 1991 para a bacia hidrográfica .....	41
Quadro 5.1	- Classes de potencial erosivo para a bacia hidrográfica .....	65
Quadro 5.2	- Convenção gráfica para interpretação das curvas de frequência acumulada .....	84

## LISTA DE SIGLAS

APA	– Área de Proteção Ambiental
ANEEL	– Agência Nacional de Energia Elétrica
Autocad	– <i>Computer Aided Designed</i>
BR	– Brasil
CIC	– Cidade Industrial de Curitiba
COBRAPE	– Companhia Brasileira de Projetos e Empreendimentos
COMEC	– Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba
CONAMA	– Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPRM	– Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais
DNAEE	– Departamento Nacional de Água e Energia Elétrica
DNPM	– Departamento Nacional de Pesquisa Mineral
EC	– Energia Cinética
EMATER	– Empresa Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural
ESRI	– <i>Environmental Systems Research Institute</i>
EPRM	– Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
EMBRAPA	– Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias
GIS	– <i>Geographic Information System</i> – Sistema de Informação Geográfica
GPS	– <i>Global Position System</i> – Sistema de Posição Global
GTZ	– Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit
IAC	– Instituto Agrônomo de Campinas
IAP	– Instituto Ambiental do Paraná
IAPAR	– Instituto Agrônomo do Paraná
IBGE	– Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPT	– Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A.
LabESed	– Laboratório de Estudos Sedimentológicos do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Paraná
MINEROPAR	– Minerais do Paraná S.A.
PUC- PR	– Pontifícia Universidade Católica do Paraná
PVC	– Cloreto de polivinila
SANEPAR	– Companhia de Saneamento do Paraná
SIMEPAR	– Sistema Meteorológico do Paraná
SMMA	– Secretaria Municipal do Meio Ambiente de Curitiba
SUDERHSA	– Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental
SUREHMA	– Superintendência dos Recursos Hídricos e Meio-Ambiente
SURFER	– Surface Mapping System – Golden Software Inc. USA
SYSGRAN	– Programa for Windows – Sistema de Análises Granulométricas
UFPR	– Universidade Federal do Paraná
USLE	– Equação Universal de Perdas de Solo
UTM	– <i>Universal Transversade Mercator</i> (coordenadas georeferenciadas)

## LISTA DE SÍMBOLOS

%	– por cento
cm	– centímetro
h	– hora
ha	– hectare
HG	– desnível geométrico
$K_G$	– Índice de avaliação de curtose
km	– quilômetro
lg	– logaritmo na base decimal
m	– metro
MJ	– mega joule
min	– minuto
mm	– milímetro
Mz	– diâmetro médio, média granulométrica
N	– Norte
NE	– Nordeste
NW	– Noroeste
$\emptyset$	– diâmetro do grão em milímetro
$\phi (\emptyset)$	– representa o logaritmo negativo de base 2 do diâmetro do grão em milímetro, utilizada a escala granulométrica de Wentworth
s	– segundo
S	– Sul
$SK_1$	– Índice de avaliação de assimetria
SW	– Sudoeste
t	– tonelada
W	– Oeste
$\sigma_1$	– Desvio padrão, dispersão, seleção

## RESUMO

Este estudo procurou contribuir ao conhecimento sobre o assoreamento ocorrido no reservatório da barragem do rio Passaúna, situado nos municípios de Curitiba e Araucária, no compartimento geomorfológico denominado Primeiro Planalto Paranaense. O reservatório é utilizado para abastecimento público de água. Para avaliação do potencial erosivo foi gerado um mapa para a bacia hidrográfica com base em parâmetros de clima, geologia, geomorfologia, pedologia, uso e ocupação do solo, fatores que, sucessivamente integrados, possibilitaram discriminar as áreas em classes com diferentes potenciais erosivos. Neste estudo a área do reservatório foi objeto de investigações diretas e indiretas, com análise do material depositado no reservatório. Com base na coleta de testemunhos verticais observou-se a deposição de material no fundo do reservatório, ocorrida no período entre seu enchimento, em 09/1990, e a amostragem em 11/2002, variou de 0,66 à 3,04 cm/ano. Na área do entorno do reservatório foram mapeadas fontes de contribuição na produção de material sedimentar. Através do imageamento do fundo do reservatório verificou-se a ocorrência de assoreamento em vários pontos no antigo canal principal do rio Passaúna e na foz de tributários. As condições urbanísticas existentes no ano de 1991, comparadas ao ano de 2002, indicam que houve degeneração para situações mais críticas, evidenciadas pelo tipo de uso e ocupação e pela intensificação das áreas com ocupação urbana, e quanto às condições deficitárias de infra-estruturas de saneamento urbano, provocando mudanças no comportamento hídrico da região e transporte do material ao reservatório. Os resultados permitiram caracterizar o assoreamento e identificar principais áreas-fonte. Com isto podem ser indicadas medidas de mitigação, visando reduzir o processo erosivo da bacia hidrográfica e o assoreamento do reservatório. Além de indicar modos de monitoramento para a preservação do reservatório e da qualidade da água.

## ABSTRACT

This study offers a contribution to the knowledge on the occurred sedimentation in the reservoir of the Passaúna River that is placed in the cities of Curitiba and Araucária, in domain of the geomorphologic compartment called Paranaense First Plateaus. The reservoir is used for public water supplying. In the evaluation of the erosive potential a map for the hydrographic basin was generated on the basis of climate parameters, geology, geomorphologic, pedologic, use and occupation of the ground, factors that, successively integrated, it makes possible to discriminate the areas in classes with different erosive potentials. In this study the area of the reservoir was object of direct and indirect inquiries, with analysis of the material deposited in the reservoir. On the basis of the collection of vertical certifications observed its deposition of material in the deep end of the reservoir, occurred in the period between its wadding, in 09/1990, and the sampling in 11/2002, varying of 0,66 to 3,04 cm/year. In the around area of the reservoir sources of contribution in the material production had been mapped sedimentary. Through the image of the deep end of the reservoir it was verified occurrence of sedimentation in some points in the old main canal of the Passaúna River and in the estuary of tributaries. The existing urbanism conditions in the year of 1991, compared with the year of 2002, indicate that it had degeneration for more critical situations, evidenced for the type of use and occupation and for the intensification of the areas with urban occupation, and how much to the deficit infrastructure conditions of urban sanitation, which provokes changes in the hydric behavior of the region and transport of the material to the reservoir. The results had allowed to characterize the main sedimentation and to identify area-source. With this it can be indicated measured of attenuation, aiming at to reduce the erosive process of the hydrographic basin and the sedimentation of the reservoir. Besides, indicating ways to monitor for the preservation of the reservoir and the quality of the water.



## 1. INTRODUÇÃO

Todos os rios transportam certa quantidade de matéria sólida, seja em suspensão, seja pelo arraste, rolamento ou saltação de partículas sólidas junto as paredes do leito ou no fluxo aquoso. A construção de uma barragem para armazenamento de água de um rio altera as condições naturais de transporte de partículas sólidas, agindo como um meio artificial de retenção de sedimentos. A deposição contínua ou gradual do material carregado pelos cursos d'água, no interior do reservatório, também chamado de assoreamento, é devido a diminuição de velocidade e da turbulência das águas, que causa sua perda de capacidade de transporte.

A área estudada corresponde à bacia hidrográfica do reservatório da barragem do rio Passaúna. Está localizada no Primeiro Planalto Paranaense, situada entre os paralelos 25° 15' – 25° 35' Sul e os meridianos 49° 25' – 49° 20' Oeste de Greenwich, abrange parte dos municípios de Curitiba, Araucária, Campo Largo, Campo Magro e Almirante Tamandaré, é considerada uma sub-bacia do rio Iguaçu. Totaliza em torno 150 Km<sup>2</sup> de superfície.

O substrato da bacia hidrográfica do rio Passaúna, é formado por unidades estratigráficas de diferentes idades, composto pelo Complexo Atuba, Grupo Acungui (Formação Capiru), diques de diabásio, Formação Guabirotuba e aluviões. Apresenta-se heterogênea em seus aspectos geomorfológicos, relevo forte ondulado e ondulado, formado por morros, colinas e outeiros, topografia variando de 875 a 1050 metros.

Após a construção da barragem do rio Passaúna, de 1985 à 1989, e o represamento da água da bacia hidrográfica, a partir de 09/1990, o material gerado na bacia passou a ser retido em grande parte no reservatório, dando início ao processo de assoreamento e conseqüente diminuição progressiva na capacidade do reservatório e da sua vida útil.

Estudos realizados pela SUDERSHA (1998), indicavam a espessura de degradação do solo da ordem de 0,03 mm/ano para a área da bacia. As transformações ocorridas no período 1990 à 2002, com a implantação do sistema público de abastecimento de água da região, a ocupação pela expansão dos municípios no entorno do reservatório, o desflorestamento e o crescimento da área com agricultura na bacia hidrográfica, causaram impactos imediatos no reservatório não só pelo aumento de cargas difusas e esgotos clandestinos, mas também pela produção de sedimentos aumentada.

Baseado nisso, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o processo de assoreamento ocorrido no reservatório nos últimos 12 anos, com caracterização do material sedimentado e das áreas-fonte de contribuição na produção de sedimentos. Contribuirá para o conhecimento da situação atual do processo de assoreamento. Poderá servir de instrumento de análise e simulações pela comunidade técnica usuária (Câmara Técnica da APA do Passaúna, prefeituras, secretarias de estado, concessionárias de recursos hídricos e de abastecimento público de água, universidades) na implantação de monitoramento e acompanhamento ambiental, na validação de políticas e na adoção de medidas mitigadoras para controle da erosão da bacia hidrográfica e do assoreamento do reservatório.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Caracterização textural e avaliação da procedência dos sedimentos e do assoreamento ocorrido no reservatório da barragem do rio Passaúna, no período de 1990 à 2002.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Avaliação qualitativa do potencial erosivo da bacia hidrográfica através da aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo – USLE para identificar possíveis áreas-fonte de material;
- Estudo da distribuição dos parâmetros texturais do material sedimentar inconsolidado acumulado no reservatório da barragem, mediante análise granulométrica do material inorgânico de amostras de sedimentos de fundo e da descrição textural de perfis de testemunhos verticais dos depósitos;
- Avaliação do estado atual de assoreamento e sua relação com a ocupação da bacia hidrográfica, visando propor medidas de mitigação do processo erosivo na bacia hidrográfica e do assoreamento do reservatório.

### 3. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO

O reservatório da barragem do rio Passaúna, adotado como objeto desta pesquisa, localiza-se em parte dos municípios de Curitiba e Araucária (Fig. 3.1). É utilizado para abastecimento público de água aos municípios de Curitiba, Araucária e Campo Magro, servindo a 776.000 habitantes em 03/2003. O enchimento do reservatório foi concluído em 09/1990. Outras informações técnicas do reservatório e da barragem estão apresentadas no anexo 3.1.

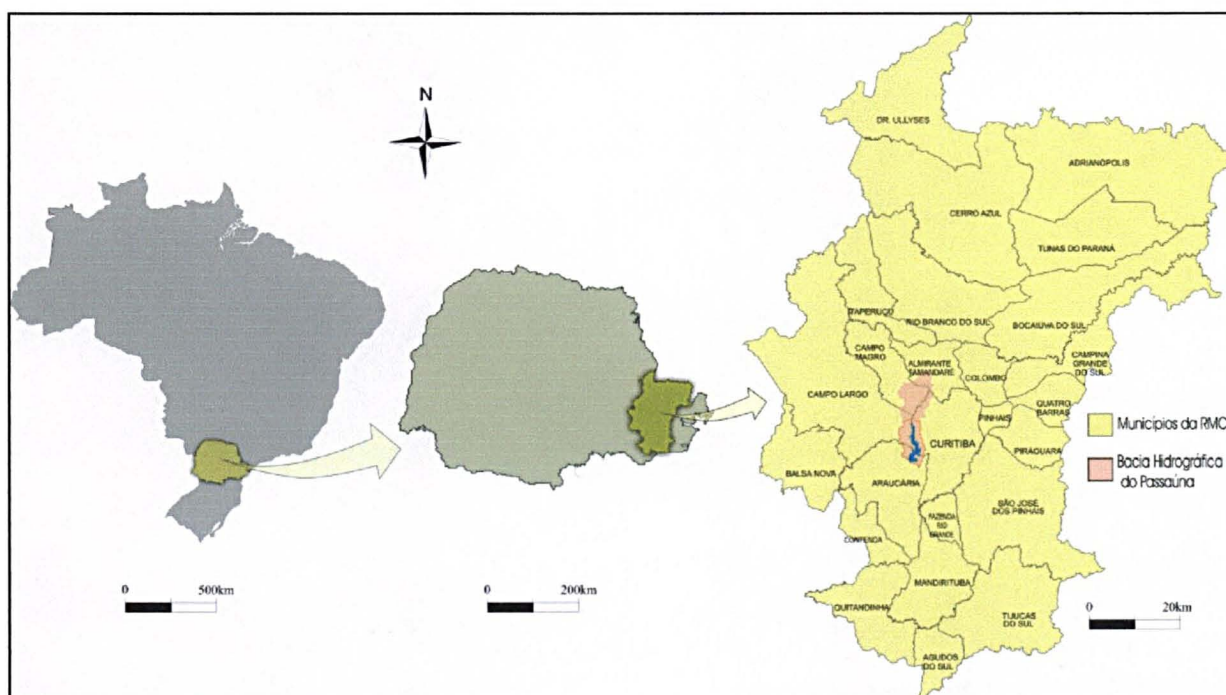


Figura 3.1 – Localização do reservatório e da bacia hidrográfica do rio Passaúna.

#### 3.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E AMBIENTAIS DA ÁREA DE ESTUDO

Nos parágrafos seguintes serão apresentadas características regionais da área de interesse do reservatório do rio Passaúna, tais como clima, pluviosidade, geomorfologia, pedologia, geologia, rede hidrológica, qualidade de água e meio biótico. O grau de detalhe da apresentação de cada item obedeceu às necessidades do estudo, razão da profundidade variada para cada tema.

##### 3.2.1 Clima

As informações gerais sobre o clima foram obtidas da bibliografia. Correspondem basicamente à classificação genérica do tipo e dinâmica climática. Segundo o sistema de Koeppen, o tipo climático desta área é o Cfb, que é mesotérmico úmido, sem estação seca, temperatura média do mês mais quente inferior a 22 °C e verões frescos (Bigarella 1985). Para o ano de 2002 a temperatura média máxima registrada foi de 21,8 °C (SIMEPAR 2003). Nos estudos do processo erosivo, o fator

precipitações, dos quais decorre a definição da erosividade das chuvas.

### 3.2.2 Pluviosidade

A base de informações de referência consta do Banco de Dados Pluviométricos do Estado do Paraná, posto da ANEEL (SUDERHSA 2002), medidas na estação da barragem Passaúna, no município de Araucária, localizado na latitude 25° 32' S e longitude 49° 23' W com medições no período de 05/1983 à 04/2001 (Anexo 3.2). Os elementos básicos da pluviosidade que foram considerados referem-se a médias pluviométricas mensais e foram aplicados na definição da erosividade das chuvas para a bacia hidrográfica. Com os dados de pluviosidade (SUDERHSA 2002) foi obtido o fator erosividade das chuvas (R), utilizaram-se as médias pluviométricas com precipitação média mensal de 133,06 mm e precipitação média anual de 1571,0 mm (Anexo 3.2). Picos máximos de precipitação foram observados nos meses de janeiro e fevereiro, e picos mínimos nos meses de abril e agosto. A irregularidade dessa distribuição, ante os processos erosivos, deve ser observada quando ocorrem precipitações intensas nos meses de março a junho, período após a colheita e preparo para o próximo replantio nas áreas de agricultura.

O planejamento de intervenções no solo deve prever a irregularidade na distribuição dos eventos pluviométricos e principalmente a recorrência de episódios anômalos, neste caso mais problemáticos no período das chuvas e importantes, se coincidentes com o solo exposto e arado, como se denota do mês de março e setembro de 1988 com precipitação de 265,3 mm e 379,8 mm, respectivamente (Anexo 3.2).

O fator erosividade da chuva dificilmente mostra variação significativa numa pequena área, como a área do reservatório Passaúna (150 km<sup>2</sup>), pois é função da intensidade da chuva, que se diferencia substancialmente em pequenas distâncias se existirem controle orográfico importante. A erosividade permitirá neste estudo, o cálculo de perdas de solo, sem diferenciar valores em decorrência da chuva, que existem.

### 3.2.3 Geologia

As informações geológicas visaram fundamentalmente subsidiar o estudo do potencial erosivo da bacia hidrográfica, além de alicerçar considerações sobre características da paisagem que são determinadas pelo substrato geológico, principalmente aqueles relacionados a feições tectônicas.

A bacia hidrográfica do rio Passaúna, situa-se sobre unidades litoestratigráficas distintas: Complexo Atuba (Proterozóico Inferior), Grupo Açungui (Proterozóico Superior), diques de rochas básicas (Mesozóico), Formação Guabirotuba e sedimentos inconsolidados (Cenozóico). Foram utilizados os levantamentos na escala 1:100.000 (CPRM 2000), figura 3.2, sendo:



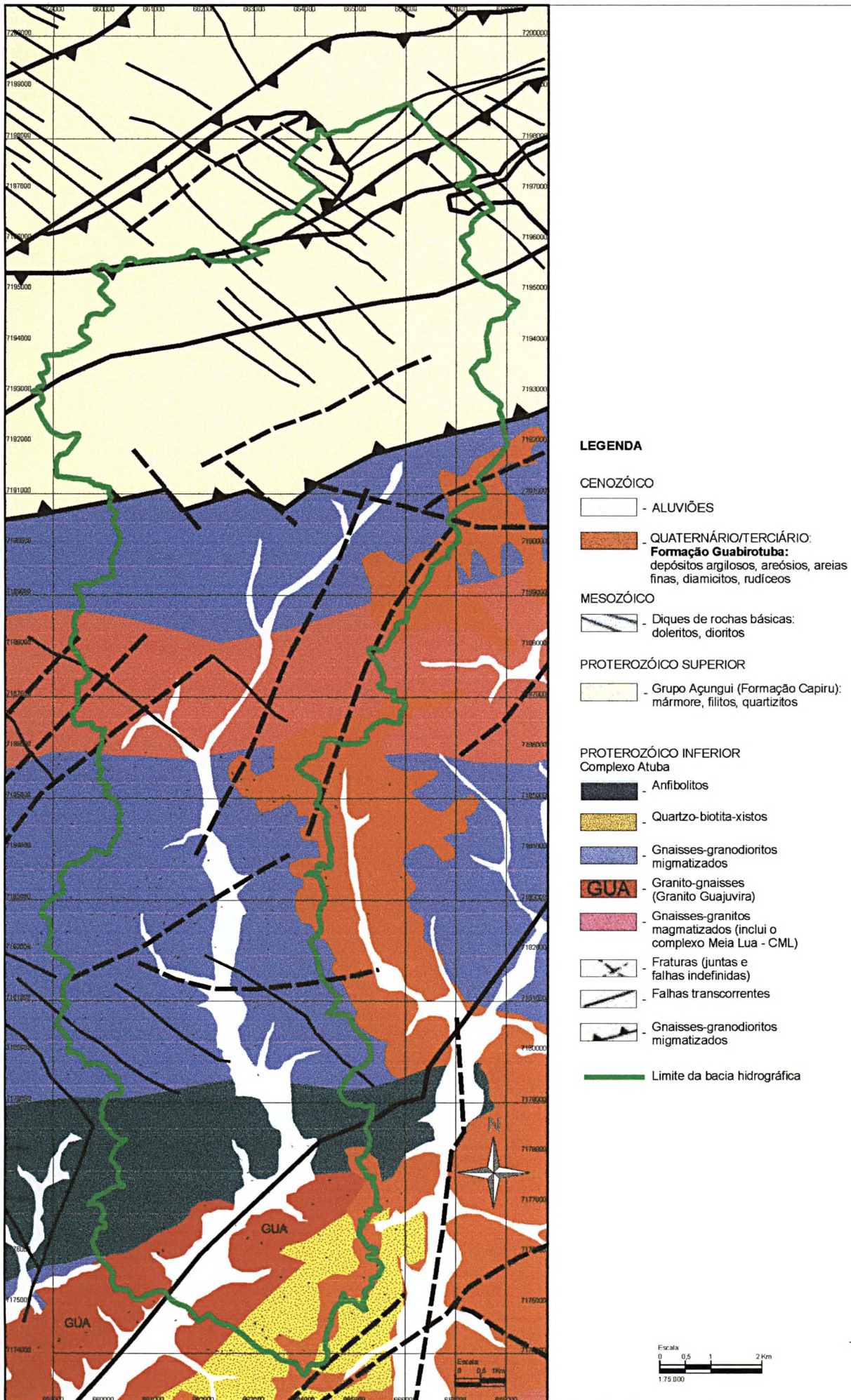


Figura 3.2 - Geologia da bacia hidrográfica do reservatório Passaúna.  
Fonte: CPRM (2000).

#### a) Complexo Atuba

Siga Jr. et al.(1996) , descreve o Complexo Atuba como inúmeros corpos interdigitados, cujos contatos são geralmente marcados por zonas de cisalhamento de direções médias entre NE-SW e E-W. A idade das rochas do embasamento é proterozóica inferior (Melo et al. 1985, Basei et al. 1992, Siga Jr. et al. 1996) . Os corpos interdigitados são constituídos por vários litotipos: metabasitos anfibolíticos e metaultrabasitos; corpos gnáissico-graníticos; xistos, quartzitos finos e paragnaisses quartzo-feldspáticos; migmatitos indiferenciados; granitos anatóticos e granitos alcalinos e subalcalinos da Serra do Mar (Salamuni et al. 1999).

As rochas metabásicas, em geral, são compostas por hornblenditos (anfíbolitos) migmatizados, afloram a sul da área de estudo.

Os corpos gnáissico-graníticos afloram nas porções sul e central da área e são constituídos por granitóides em geral (incluindo o Granito Guajuvira) e granodioritos, algumas vezes migmatizados. Por vezes, interdigitados com estes gnaiss-granitos, ocorrem quartzo-xistos, sillimanita-granada xistos e quartzitos finos, aflorando na parte sudeste da área de estudo;

#### b) Grupo Açungui

Bigarella e Salamuni (1956, 1958), estudando a Formação Açungui e Formação Setuva, primeiramente definiram a Formação Capiu no topo do Grupo Açungui e posteriormente reconheceram mais uma unidade que foi batizada de Formação Votuverava. Fiori (1992), considerou o Grupo Açungui composto pelas formações Capiu, Votuverava e Antinha. A Formação Capiu compreende todos os metassedimentos ao sul da Falha da Lancinha, a Formação Votuverava engloba somente os metassedimentos que ocorrem entre as falhas do Morro Agudo e da Lancinha (excluindo a Formação Perau e a Formação Camarinha). Na área de estudo o Grupo Açungui está representado, somente, pelas rochas da Formação Capiu, atribuídas ao Proterozóico Superior (Salamuni et al. 1999), aflorantes na porção norte da área de estudo;

##### b.1) Formação Capiu

Bigarella e Salamuni (1956, 1958) definiram esta formação como sendo constituída litologicamente por mármore dolomíticos, por vezes estromatolíticos, metassiltitos, metarritmitos, ardósias, quartzitos, metarenitos, xistos e filitos grafitosos; e não menos importantes, as ocorrências de depósitos de ferro, sob a forma de Itabirito.

Fiori (1994), afirmam que o Conjunto Juruqui é composto basicamente por filitos avermelhados, com intercalações não muito frequentes de quartzitos. O Conjunto Rio Branco engloba mármore e/ou metacalcários e suas intercalações de filitos e quartzitos. É o que apresenta maior extensão areal dentre àquelas da Formação Capiu. É sobreposto tectonicamente sobre o conjunto anterior através das Falhas da Colônia Venâncio e das Aranhas. O Conjunto Morro Grande

caracteriza-se pela alternância de bancos ou camadas de quartzitos, filitos e mármore, com espessuras da ordem de dezenas de metros. Os filitos e os mármore são geralmente bandados ou rítmicos e os quartzitos mais homogêneos;

#### c) Grupo São Bento (Formação Serra Geral)

Marini et al. (1967), descrevem estas rochas como diques de diabásio alojados em falhas e fraturas, que os relacionados aos derrames basálticos toleíticos do Brasil Meridional.

Os diques de diabásio são corpos de espessura métrica e alinhados em NW-SE, compostos por minerais ferromagnesianos (piroxênios) e plagioclásios (labradorita) de cor escura (frescos) ou ferrugem (alterados), que se decompõem esferoidalmente pela ação intempérica físico-química. Os diques de diabásio ocorrem principalmente na porção norte da bacia, cortando rochas do Grupo Açungui, rareando em domínio das rochas migmatíticas do Complexo Atuba.

#### d) Formação Guabirotuba

Muratori (1966), em um trabalho realizado à oeste da folha de Campo Largo, descreveu sedimentos que denominou chamar de Formação Guabirotuba.

Segundo Bigarella e Salamuni (1959), os depósitos da Formação Guabirotuba compreendem seqüências litológicas onde predominam argilitos e areias arcossianas e mais raramente sedimentos rudáceos. Ocorrência de impregnações de carbonato na forma de caliche, enriquecidas de terras raras foram documentadas.

Salamuni et al. (1999), descreve a Formação Guabirotuba, como a principal unidade sedimentar da Bacia de Curitiba, depositada discordantemente sobre o Complexo Atuba, sendo composta predominantemente por depósitos argilosos e silticos esverdeados que gradam para sedimentos mais grossos de forma interdigitada ou abrupta, dependendo das características estratigráficas e estruturais locais. Ocorrem intercalações de areias arcossianas e cascalheiras com predominância de seixos de quartzo, lentes siltosas, além de concreções de carbonato de cálcio em depósitos argilosos;

#### e) Aluviões

Os aluviões são formados por sedimentos quaternários holocênicos, inconsolidados, constituídos por areias, argilas, siltes e matéria orgânica (turfa), além de intercalações de cascalho. Ocupam as planícies de inundação ou várzeas, tendo grande expressão ao longo do rio Passaúna, principalmente próximo a sua foz.

### 3.2.4 Geomorfologia

A geomorfologia envolve diversos fatores abordados no estudo do processo erosivo e os articula no contexto dinâmico de evolução da paisagem (Stein 1999). A bacia hidrográfica do



reservatório Passaúna localiza-se na região denominada de Primeiro Planalto Paranaense ou Planalto de Curitiba. Apresenta-se heterogênea em seus aspectos geomorfológicos, com altitudes variando de 875 a 1050 metros (EMBRAPA 1984). Na modelagem do relevo destaca-se a importância das condicionantes geológica-litológica e estrutural, com implicações morfoclimáticas, como responsáveis da variação de feições morfológicas da região. É composta por:

a) A área que compreende o Complexo Atuba, abrange cerca de 70% da bacia, apresenta paisagem bem modelada, morros de topos arredondados, vertentes convexas e dissecação generalizada. A drenagem, quando não está encaixada em zonas de falha, possui um padrão dendrítico. Bigarella et.al (1965) afirmaram que os topos aplainados desses morros têm relação com diferentes pediplanos do Cenozóico e com a evolução morfoclimática do mesmo. Sobre as rochas desenvolveram-se solos evoluídos por alteração, com espessura variada (1,0 a 3,0 m) com granulometria areno-siltosa. Possuem seixos pequenos, de 0,2 a 1 cm, dispersos na matriz, com pouca matéria orgânica, sendo que em sua base, verificam-se “stone-lines” irregulares. Os colúvios de rampa ou encosta possuem espessura menor (0,5 – 1,5 m), aumentando na base das encostas. A granulação é silto-argilosa, e são também pobres em matéria orgânica. Os solos destas regiões possuem alta susceptibilidade a erosão com possibilidade de escorregamentos e rastejos de solos em declividades superiores a 20%;

b) Na área de exposição da Formação Capiuru (Grupo Açungui) a morfologia tem característica montanhosa, apresentando linhas de crista NE, constituídas por rochas mais resistentes (quartzitos). As formações superficiais variam de acordo com a gênese. Nos filitos, os solos evoluídos por alteração têm espessura reduzida, cerca de 0,5 m, são siltico-argilosos com pequenos seixos quartzosos dispersos na matriz. Nas cristas de quartzito, são arenosos com quantidades variadas de silte. Em ambos casos, é pouca a quantidade de matéria orgânica. Sobre os filitos ocorrem também colúvios de rampa espessos (1,5 m e 3,0 m respectivamente), constituídos por argila ou argila-silto-arenosas. Dão origem a solos bem desenvolvidos, com horizontes bem definidos. Neste tipo de solo há possibilidade de escorregamentos ou movimentos de massa em cortes e vertentes que interceptem no mesmo sentido os planos de foliação / acamamento, intensificando-se com o aumento da declividade. Esta região caracteriza-se, também, pela incidência de rochas carbonáticas que apresentam uma direção principal NE-SW. As rochas carbonáticas possuem alta permeabilidade e solubilidade, com alta densidade de fraturas e outros planos estruturais, sendo bastante percolativas e apresentando alto potencial de armazenamento de água (aquífero Karst), impondo sérias restrições quanto à ocupação antrópica. A região do Karst está recoberta por solos e sedimentos que tendem a preencher as cavidades originadas na rocha, podendo gerar colapsos e desabamentos em superfície;

c) Na área de abrangência da Formação Guabirotuba, ocorrem os sedimentos semi-consolidados pleistocênicos que sustentam morros suaves e com vertentes pouco inclinadas. Como formações



superficiais, temos os solos evoluídos por alteração, espessos, com cerca de 3,0 m, arenosos, pouco siltosos, com pequena quantidade de matéria orgânica. Está presente na região de São Braz e Butiatuvinha em Curitiba, e em pequenas manchas ao sul da bacia. Pelas suas características pedológicas a susceptibilidade a erosão é alta quando há exposição do solo. Esta susceptibilidade é crescente com o aumento da declividade, tornando-se crítica em terrenos com inclinação acima de 20%;

d) As áreas de sedimentos aluvionares mais representativas estão presentes nos fundos de vale do rio Passaúna e seus principais afluentes. Na sua morfologia apresenta um relevo plano com declividades muito baixas. Possui uma camada superficial orgânica, hidromórfica, plástica, mole e de baixa densidade. Por suas características, apresenta alta restrição à ocupação urbana, baixa capacidade de suporte de carga e à instalação de fontes potencialmente poluidoras dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, inclusive por ser área sujeita à inundação.

A distribuição das condicionantes geológica-litológica na região da bacia hidrográfica e sua avaliação quanto ao material inconsolidado, geomorfologia e geotecnia constam da tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Distribuição do material inconsolidado, geomorfologia e unidades geotécnicas na bacia hidrográfica.

Litologia	Material Inconsolidado	Geomorfologia	Geotecnia
Sedimentos aluvionares de fundo de vale.	Camada superficial orgânica, cor negra, recobrimdo argila intermediária caulinitica, cor cinza escura, sobre pavimento de areia fina a grossa e/ou cascalho.	Planície de fundo de vale.	Nível freático médio de 2,5 m, camada superficial orgânica, hidromórfica, plástica, mole a muito mole, baixa permeabilidade, espessura de 1 a 2 m. Argila intermediária, mole a muito mole, plástica, baixa permeabilidade, espessura de cerca de 1 m. Areia e cascalhos fofos, as vezes compactos, porosos, permeabilidade média e elevada, espessura inferior a 1 m, baixa resistência a penetração (SPT).
Solos residuais e/ou transportados sobre argilas da Formação Guabirotuba.	Solo residual maduro, latossolo de cor vermelha, argiloso (horizontal B), argiloso mineral predominante caulinita (1:1). Inclusões subordinadas de solos transportados. Assenta sobre níveis irregulares de argila, cascalhos e arcósios lateríticos solo residual jovem (saprólito) não laterítico com cor variada, vermelha e violácea, contendo por vezes grãos de quartzo e feldspatos alterados. Argilo mineral predominante: esmecita (2:1). Na base argila de cor cinza esverdeada, não laterítica, com grãos de feldspatos alterados. Argilo mineral predominante: esmecita (2:1). Inclui camadas descontínuas e lenticulares de arcósios (quartzo+feldspatos+caulim).	Morros suaves com topos aplanados vertentes íngremes de alta inclinação.	N.A. = de cerca de 3,8 m. Solo superficial não laterítico, argiloso poroso, permeabilidade baixa, argila de baixa atividade catiônica. Comportamento isotrópico de expansão, consistência baixa, espessura entre 0,5 e 3 m. Arcósios de compactidade média a alta e permeabilidade baixa. Solo inferior não laterítico, argiloso, baixa permeabilidade, consistência baixa a média, argila de alta atividade. Os cátions trocáveis são predominantemente bivalentes (Ca e Mg- limita expansão e força). Comum o empastilhamento e trincas por retração. Espessura de 2 a 5 m. Argila verde alta qualidade (expansiva e retrativa), cátions trocáveis predominantemente bivalentes (Ca e Mg-). Comum empastilhamento e trincas por retração. Todo perfil apresenta consistência média a alta, permeabilidade alta, espessuras variando de metros e dezenas de metros. A escavabilidade é de primeira categoria e a resistência a penetração (SPT) é crescente com a profundidade.
Solos residuais e/ou transportados sobre gnaisses e migmatitos.	Solos residuais maduros ou jovens, de cor avermelhada, lateríticos. Argilo mineral predominante: caulinita (1:1). Inclusões de solos transportados (coluvionares), sobre saprólito (rocha alterada), de cor cinza escura a avermelhada, com estrutura reliquia da rocha (bandamentos, veios de quartzo e outros). Textura média e siltosa, com argilo mineral predominante: caulinita (1:1).	Morros com topos arredondados e vertentes convexas.	N.A. = 5,2 m em média. Solos lateríticos argilosos e porosos, permeabilidade média, argila de baixa atividade, com espessura média em torno de 1,0 m. Saprólito de textura média a siltosa, porosidade alta, permeabilidade baixa, consistência média a alta, argila de alta atividade, com espessura virando de 4,0 a 10,0 m. A escavabilidade desta unidade é de primeira categoria e a resistência dos materiais nos ensaios (SPT) gradua de baixa a média, sendo crescente com a produtividade.
Gnaisses graníticos e augen gnaisses.	Solos residuais com inclusões de solos transportados sobre gnaisses e migmatitos, graníticos e filitos/metapelitos com pequenas espessuras, siltosos e siltico-arenosos, com blocos e megablocos frequentes. Saprólito arenoso.	Relevo ondulado, vertentes retilíneas inclinadas.	N.A. = não determinado. Solos siltosos e siltico-arenosos, porosos e permeáveis. Frequentes blocos e megablocos, esparsos no solo e saprólito. Baixa reatividade das argilas.
Solos residuais ou transportados sobre diques de diabásio.	Solos residuais maduros ou jovens, de cor castanha avermelhada à pardacenta, por vezes recoberto por solo transportado (coluvial), sobre saprólito.	Cristas alongadas na forma de morros, topos achatados e vertentes convexas e íngremes.	Solo residual, argiloso, laterítico, poroso, baixa permeabilidade, baixa a média capacidade de troca catiônica. Espessuras inferiores a 1,0 m. Argilo minerais: caulinitica (1:1) e esmecita (2:1). Solo coluvial de cor amarronada a castanho avermelhada, matriz argilosa, envolvendo blocos e matações distribui-se lateralmente aos diques de diabásio, formando franjas de colúvio, com extensão de até 250 m. Saprólito de diabásio, siltico, de cor avermelhada a pardacenta, laterítico, poroso, baixa permeabilidade. Espessuras superiores a 5,0 m. Presença de matações arredondados com decomposição esferoidal. Resistência à penetração (SPT) crescente com a profundidade, com passagem brusca ao impenetrável no contato com a rocha fresca. Argilo mineral: caulinita (1:1).
Solos transportados sobre rochas carbonáticas.	Solos argilosos e siltosos, às vezes com concentrações silicosas de alteração de metacalcáris de coloração variegada, imaturos, textura predominante argilosa, lateríticos. Argilo minerais: caulinita (1:1), gibssita e ilita (2:1).	Topografias características como dolinas, cavernas e sumidouros, relevo rebaixado caracterizado por planícies.	Espessura de 1 a mais de 30 m. Escavabilidade de categoria e resistência a penetração baixa e média, homogênea ao longo do perfil, crescente com a profundidade. Nível freático médio = 5,7 m. Porosidade elevada e baixa permeabilidade.

FONTE: Cobrape (2000).

### 3.2.5 Pedologia

As informações mais recentes, disponíveis na literatura sobre os solos da bacia hidrográfica, correspondem ao mapa do Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Paraná (IAPAR 1981, EMBRAPA 1984) em 1:600.000. Na bacia hidrográfica do reservatório Passaúna os solos predominantes (Fig. 3.3) são, segundo este mapa:

- Cambissolo álico Tb A proeminente textura argilosa, fase floresta sub-tropical perenifólia, relevo forte ondulado substrato filitos (Ca5);
- Associação cambissolo álico Tb relevo forte ondulado + solos litólicos distróficos relevo montanhoso, ambos A moderado, textura argila, fase campo subtropical substrato filitos (Ca37);
- solos hidromórficos gleyzados indiscriminados, de textura argilosa, fase campo e floresta subtropical de várzea, relevo plano (HG2);
- latossolo vermelho escuro distrófico A proeminente textura argilosa, fase floresta subtropical perenifólia, relevo suave ondulado (LEd3);
- latossolo vermelho amarelo álico pouco profundo A proeminente textura argilosa, fase floresta subtropical perenifólia, relevo suave ondulado e ondulado (LVa6);
- associação latossolo vermelho amarelo álico + cambissolo álico Tb substrato sedimentos pleistocênicos ambos A proeminente, textura argilosa, fase campo subtropical, relevo suave ondulado (LVa12);
- associação latossolo vermelho amarelo álico relevo ondulado + cambissolo álico Tb relevo ondulado substrato filitos, ambos A proeminente, textura argilosa, fase campo subtropical (LVa13);
- associação podzólico vermelho amarelo álico Tb textura média/argilosa com cascalho, relevo forte ondulado + podzólico vermelho amarelo álico latossólico, textura argilosa com cascalho, relevo ondulado, ambos A moderado, fase floresta subtropical perenifólia (PVa21).

### 3.2.6 Rede Hidrográfica

A bacia hidrográfica do reservatório Passaúna conta com a drenagem superficial compartimentada em 12 (doze) sub-bacias, determinadas a partir dos divisores de água e da integração significativa entre as variáveis referentes aos agrupamentos de afluentes, uso do solo e a série de pontos existentes para monitoramento pluviométrico e de qualidade da água.

Desta compartimentação resultou a sub-divisão da área de influência do rio Passaúna conforme figura 3.4.



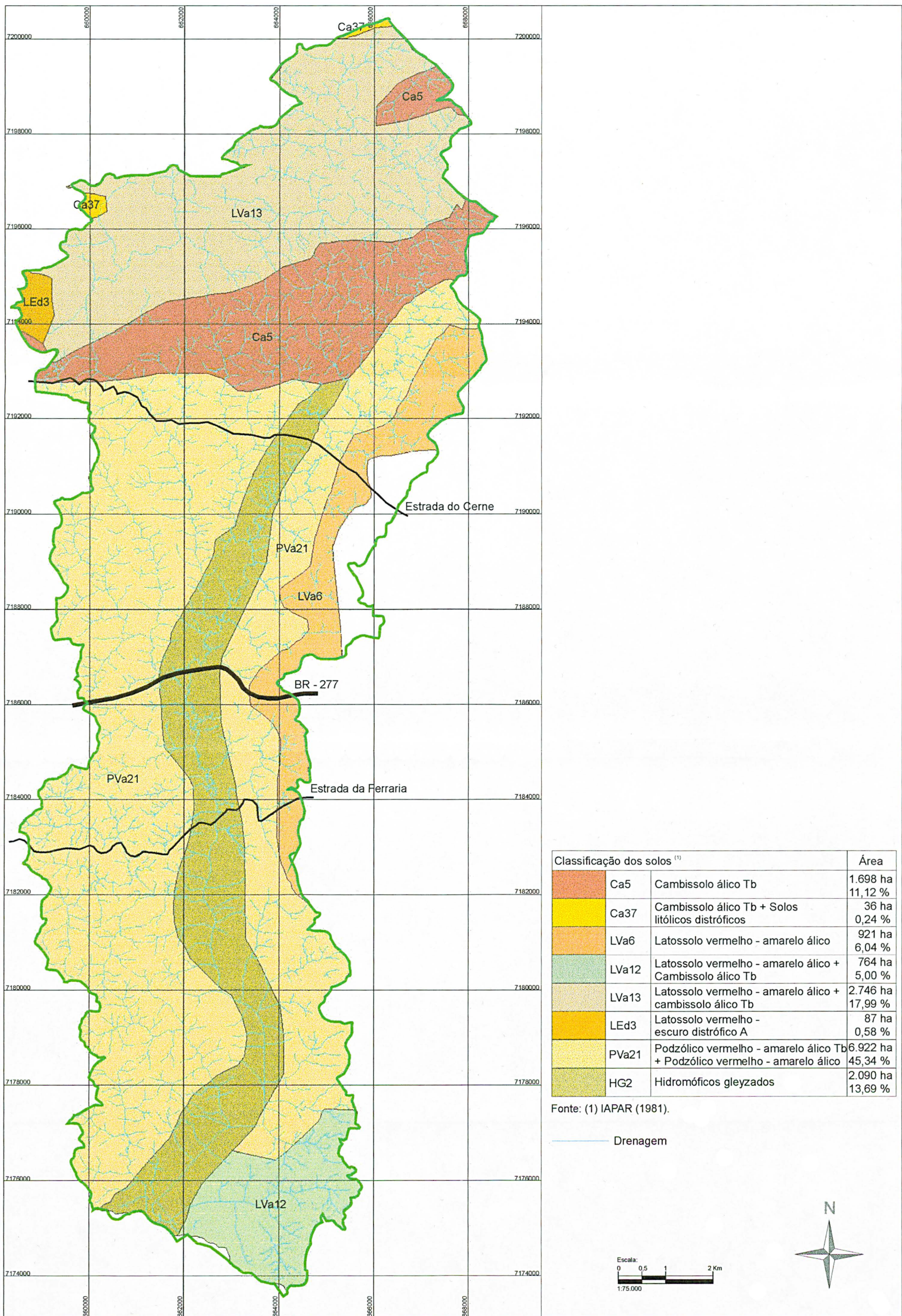


Figura 3.3 - Mapa dos solos da área da bacia hidrográfica do reservatório Passaúna.

Fonte: IAPAR 1981.



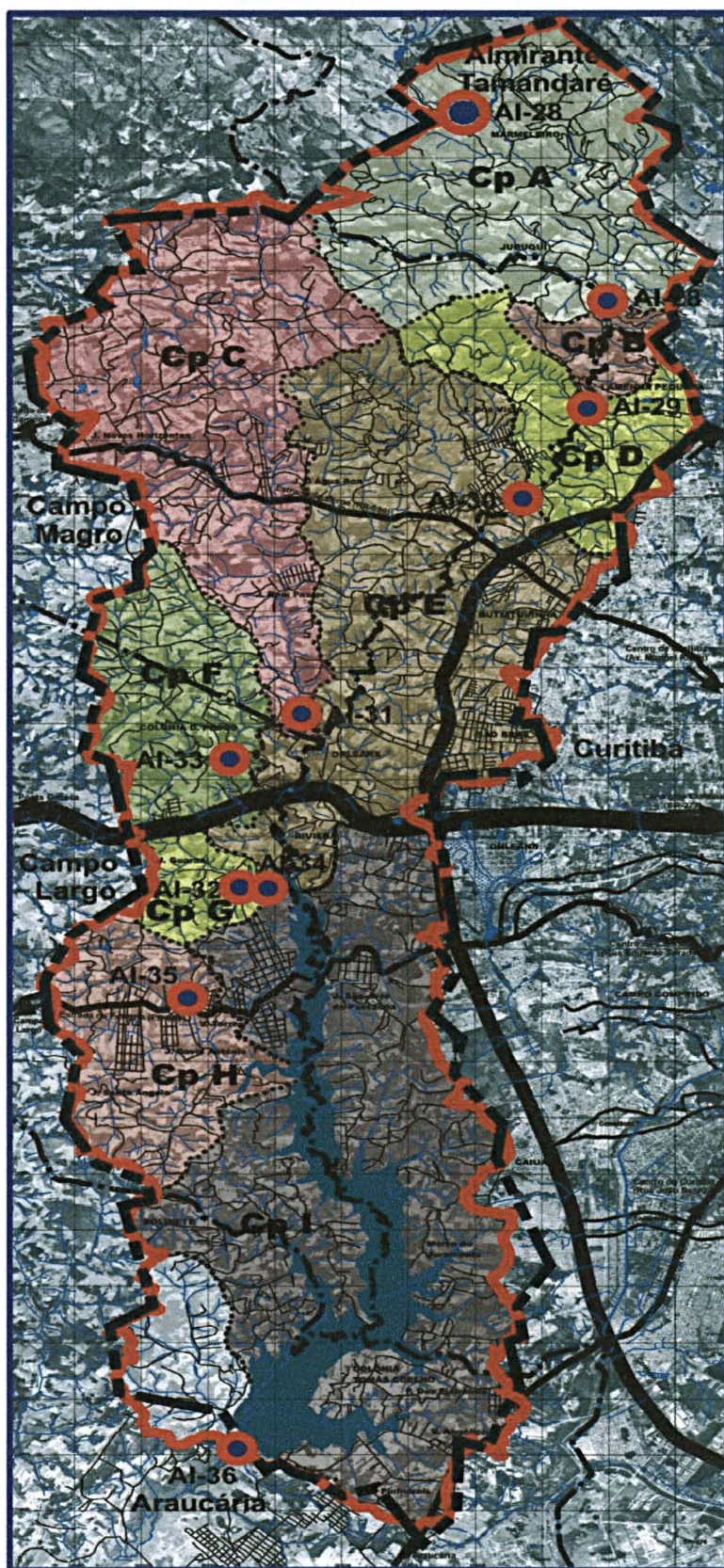


Figura 3.4- Compartimentação e pontos de monitoramento da qualidade da água do reservatório.

FONTE: Cobrape (2000).

Para a caracterização hidrológica da área da bacia hidrográfica do rio Passaúna foram utilizados os dados de monitoramento das estações fluviométricas da Sudersha. A tabela 3.2 apresenta dados existentes da disponibilidade dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Passaúna, resultados obtidos com a aplicação da metodologia regional do Projeto HG-64 do Centro de Hidráulica da Universidade Federal do Paraná.

Tabela 3.2- Caracterização da disponibilidade dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Passaúna.

Curso D' Água	Local / Seção	Área ( km <sup>2</sup> )		Q <sub>LT</sub> ( m <sup>3</sup> /s )		q <sub>LT</sub> ( l/s/km <sup>2</sup> )	
		Parcial	Acum.	Vazão Média		Vazão Específica	
				Parcial	Acum.	Parcial	Acum.
Rio Passaúna	Mont. Aterro Sanitário - Estação AI-28	20,24	20,24	0,34	0,34	17,00	17,00
	Área Incremental - A1						
	Margem direita - A1-D1,28	1,28	0,02	0,02	17,00	---	---
	Margem esquerda - A1-E1,30	1,30	0,02	0,02	17,00	---	---
Rio Passaúna	Jus. Aterro Sanitário - Estação AI-29	2,58	22,82	0,04	0,39	---	17,00
	Área Incremental - A2						
	Margem direita - A2-D4,03	4,03	0,07	0,07	17,00	---	---
	Margem esquerda - A2-E4,46	4,46	0,08	0,08	17,00	---	---
Rio Passaúna	Montante rio Bambeca	8,49	31,31	0,14	0,53	17,00	17,00
	Rio Bambeca						
	Foz 1,58	1,58	0,03	0,03	17,00	---	---
Rio Passaúna	Jusante confluência rio Bambeca	---	32,89	---	0,56	---	17,00
	Área Incremental - A3						
	Margem direita - A3-D0,24	0,24	0,00	0,00	17,00	---	---
	Margem esquerda - A3-E0,28	0,28	0,00	0,00	17,00	---	---
Rio Passaúna	Montante rio Custódio	0,52	33,41	0,01	0,57	17,00	17,00
	Rio Custódio						
	Foz 3,60	3,60	0,06	0,06	17,00	---	---
Rio Passaúna	Jusante rio Custódio	---	37,01	---	0,63	---	17,00
	Área Incremental - A4						
	Margem direita - A4-D0,05	0,05	0,00	0,00	17,00	---	---
	Margem esquerda - A4-E0,03	0,03	0,00	0,00	17,00	---	---
Rio Passaúna	Montante rio sem nome (Butlatuvinha)	0,08	37,09	0,00	0,63	17,00	17,00
	Rio sem nome						
	Foz 1,43	1,43	0,02	0,02	17,00	---	---
Rio Passaúna	Jusante rio sem nome	---	38,52	---	0,65	---	17,00
	Área Incremental - A5						
	Margem direita - A5-D1,41	1,41	0,02	0,02	17,00	---	---
	Margem esquerda - A5-E4,15	4,15	0,07	0,07	17,00	---	---
Rio Passaúna	Montante rio sem nome (Samambaia)	5,56	44,08	0,09	0,75	17,00	17,00
	Rio sem nome						
	Foz 6,05	6,05	0,10	0,10	17,00	---	---
Rio Passaúna	Jusante rio sem nome	---	50,13	---	0,85	---	17,00
	Área Incremental - A6						
	Margem direita - A6-D0,69	0,69	0,01	0,01	17,00	---	---
	Margem esquerda - A6-E5,70	5,70	0,10	0,10	17,00	---	---
Rio Passaúna	Montante rio Cachoeirinha	6,39	56,52	0,11	0,96	17,00	17,00
	Rio Cachoeirinha						
	Foz 24,13	24,13	0,41	0,41	17,00	---	---
Rio Passaúna	Jusante rio Cachoeirinha	---	80,65	---	1,37	---	17,00
	Área Incremental - A7						
	Margem direita - A7-D0,77	0,77	0,01	0,01	17,00	---	---
	Margem esquerda - A7-E1,57	1,57	0,03	0,03	17,00	---	---
Rio Passaúna	BR-277 - Estação AI-32	2,34	82,99	0,04	1,41	17,00	17,00
	Área Incremental - A8						
	Margem direita - A8-D0,03	0,03	0,00	0,00	17,00	---	---
	Margem esquerda - A8-E0,05	0,05	0,00	0,00	17,00	---	---
Rio Passaúna	Montante rio Cachoeira	0,08	83,07	0,00	1,41	17,00	17,00
	Rio Cachoeira						
	Trecho de montante 8,79	8,79	0,15	0,15	17,00	---	---
	Foz 1,36	10,15	0,02	0,17	17,00	---	---
Rio Passaúna	Jusante rio Cachoeirinha	---	93,22	---	1,58	---	17,00
	Área Incremental - A9						
	Margem direita - A9-D0,98	0,98	0,02	0,02	17,00	---	---
	Margem esquerda - A9-E0,87	0,87	0,01	0,01	17,00	---	---
Rio Passaúna	Montante rio sem nome (Bacacheri)	1,85	95,07	0,03	1,62	17,00	17,00
	Rio sem nome						
	Foz 2,96	2,96	0,05	0,05	17,00	---	---
Rio Passaúna	Jusante rio sem nome	---	98,03	---	1,67	---	17,00

FONTE: Cobrape (2000).

As vazões mínimas são apresentadas na tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Vazões mínimas da bacia hidrográfica do reservatório do rio Passaúna.

Curso D' Água	Local / Seção	Sub-Bacia (1)	Área ( km² )		Q <sub>LT</sub> ( m³/s )		q <sub>LT</sub> ( l/s/km² )		Q <sub>1,10</sub> ( m³/s )		Q <sub>7,10</sub> ( m³/s )		q <sub>min</sub> ( l/s/km² )	
			Parcial	Acumul.	Vazão Média		Vaz. Específica		Vazão Mínima				Vaz. Específica	
					Parcial	Acumul.	Parcial	Acumul.	Parcial	Acumul.	Parcial	Acumul.	Parcial	Acumul.
Rio Passaúna	Mont. Aterro Sanitário - Estação AI-28	A1	20,24	20,24	0,344	0,344	17,0	17,0	0,050	0,050	0,054	0,054	2,7	2,7
Rio Passaúna	Área Incremental	A4	8,19	—	0,139	—	17,0	—	0,020	—	0,022	—	2,7	—
Rio Passaúna	Área Incremental	A5	4,46	—	0,076	—	17,0	—	0,011	—	0,012	—	2,7	—
Rio Passaúna	Jusante confluência rio Bambeça	—	—	32,89	—	0,559	—	17,0	—	0,081	—	0,088	—	2,7
Rio Passaúna	Área Incremental	A3	12,04	—	0,205	—	17,0	—	0,029	—	0,032	—	2,7	—
Rio Passaúna	Área Incremental	A6	11,59	—	0,197	—	17,0	—	0,028	—	0,031	—	2,7	—
Rio Passaúna	Montante rio Cachoeirinha	—	—	56,52	—	0,961	—	17,0	—	0,138	—	0,152	—	2,7
Rio Cachoeirinha	Foz	A2	24,13	24,13	0,410	0,410	17,0	17,0	0,059	0,059	0,065	0,065	2,7	2,7
Rio Passaúna	Jusante rio Cachoeirinha	—	—	80,65	—	1,371	—	17,0	—	0,197	—	0,217	—	2,7
Rio Passaúna	Área Incremental	A7	10,95	—	0,186	—	17,0	—	0,027	—	0,029	—	2,7	—
Rio Passaúna	Área Incremental	A8	17,84	—	0,303	—	17,0	—	0,044	—	0,048	—	2,7	—
Rio Passaúna	Área Incremental	A9	10,24	—	0,174	—	17,0	—	0,025	—	0,027	—	2,7	—
Rio Passaúna	Jusante Rio Ferraria	—	—	119,68	—	2,035	—	17,0	—	0,293	—	0,321	—	2,7
Rio Passaúna	Área Incremental	A10	11,01	—	0,187	—	17,0	—	0,027	—	0,030	—	2,7	—
Rio Passaúna	Área Incremental	A11	12,93	—	0,161	—	12,4	—	0,023	—	0,025	—	2,0	—
Rio Passaúna	Área Incremental	A12	7,28	—	0,124	—	17,0	—	0,036	—	0,039	—	5,4	—
Rio Passaúna	Local da Barragem	—	—	150,90	—	2,506	—	16,6	—	0,379	—	0,415	—	2,8

FONTE: Cobrape (2000).

### 3.2.7 Qualidade da Água

Na bacia hidrográfica do rio Passaúna os núcleos urbanos presentes apresentaram uma razoável expansão em área e em população residente nos últimos anos. É marcante a inexistência de infra-estrutura de esgotamento sanitário. Comprometendo à qualidade dos corpos hídricos, situação em que os padrões especificados pelo enquadramento dos corpos d'água estejam sobre forte pressão de violação, podendo interferir com a sua exploração para abastecimento doméstico.

Na bacia hidrográfica do rio Passaúna, são monitorados sistematicamente pela Suderhsa onze pontos em cursos d'água, sendo sete ao longo do curso principal e quatro em tributários. Dos sete pontos ao longo do rio Passaúna, quatro, acrescidos dos pontos dos tributários, se localizam a montante do Reservatório.

A avaliação da qualidade da água na bacia hidrográfica, realizada atualmente pela Companhia de Saneamento do Paraná, tem por objetivo dar suporte às análises e prognósticos de conflitos de usos emergentes e/ou potenciais, no que tange à qualidade e preservação do manancial explorado para abastecimento da Região Metropolitana de Curitiba.

Conforme a Portaria Surehma n.º 20 de 12 de maio de 1992, na bacia hidrográfica do rio Passaúna os cursos d'água são enquadrados na Classe 2. O enquadramento é definido em função dos usos previstos, para os quais a Resolução Conama n.º 20/86 estabelece limites toleráveis para os parâmetros que permitem o uso da água para abastecimento público.

### 3.2.8 Meio Biótico

As características do meio biótico na bacia hidrográfica foram obtidas no Relatório Parcial dos Estudos da Atualização do Zoneamento Ecológico - Econômico da área de Proteção Ambiental do Passaúna (COBRAPE 2000). Na elaboração do relatório, foi utilizada como base cartográfica nas cartas do zoneamento da bacia hidrográfica do rio Passaúna em escalas diversas, datadas de 1992 e anteriores. Para a elaboração de mapa preliminar de vegetação (mapeamento fitogeográfico), foram interpretadas fotos aéreas, em preto e branco, datadas de 1996, na escala 1: 60.000 (semidetalhada), fornecidas pela empresa Engefoto, o que permitiu a COBRAPE determinar tamanho e forma dos remanescentes vegetais existentes na bacia hidrográfica do reservatório Passaúna. Para fins de checagem e atualização desta foto-interpretação, bem como para caracterização e diagnóstico das tipologias vegetais primárias e secundárias existentes, foram utilizadas, de forma amostral, fotos aéreas em preto e branco da empresa Esteio, na escala 1: 8.000 (escala detalhada), datadas de 1999. Na sequência foi elaborado pela COBRAPE, mapa de vegetação, na escala de 1: 60.000, juntamente com a descrição da vegetação desta região. Neste estudo foram realizadas verificações em campo, para fins de checagem e confirmação da vegetação e dos dados existentes.

#### 3.2.8.1 Histórico

A ocupação da região do Passaúna iniciava-se a partir da fundação da Colônia Tomás Coelho, em 1876. Situada em Araucária, reuniu imigrantes franceses, italianos, alemães e principalmente poloneses, tendo como objetivo abastecer a capital do estado com produtos agrícolas. A área da Colônia foi medida e subdividida em pequenas propriedades de cinco, seis ou até oito alqueires. Atualmente, a área da bacia hidrográfica é integrada por porções territoriais de cinco municípios: Almirante Tamandaré, Curitiba, Campo Largo, Campo Magro e Araucária.

A caracterização dos cinco municípios inseridos na área da bacia hidrográfica, são:

- a) Almirante Tamandaré: caracteriza-se por área rural constituída de pequenas propriedades e com poucos núcleos de ocupação urbana, sendo a extração da bracatinga uma das principais atividades econômicas da região;
- b) Curitiba: caracteriza-se por ocupações residenciais de alta/média densidade (bairros São Braz e Botiatuvinha), ocupações residenciais de baixa densidade (bairros Lamenha Pequena, Orleans e Riviera) e outras áreas industriais e de serviços (pertencentes a Cidade Industrial de Curitiba);
- c) Campo Largo: a BR-277 e a estrada da Ferraria interceptam transversalmente a bacia hidrográfica. Sua ocupação urbana está concentrada em torno dessas vias principais; os serviços industriais predominam na BR-277 e loteamentos residenciais na estrada da Ferraria. O restante da região está



ocupada por chácaras e pequenas propriedades rurais, que tem como principais culturas o milho e a batata;

d) Campo Magro: possui relevo bastante acidentado, tem como acesso principal a PR-090 (estrada do Cerne), em torno da qual está assentada a maior parte da população urbana, é ocupada por pequenas propriedades rurais, cujas atividades econômicas principais são: a cultura da batata, do milho e avicultura;

e) Araucária: caracterizava-se até a década de 70, por ocupação tradicionalmente rural (Colônia Tomás Coelho). Nos últimos anos esta situação mudou, havendo um aumento na ocupação urbana e industrial, principalmente em torno da avenida das Araucárias. Situa-se também nesta região a barragem do rio Passaúna e a captação de água para abastecimento público.

A figura 3.5 apresenta a ocupação urbana existente na área destes municípios componentes da bacia hidrográfica do reservatório, e que interferem na produção de sedimentos.

### 3.2.8.2 Classificação da Vegetação

As informações sobre a vegetação na bacia hidrográfica foram obtidas no Relatório Parcial dos Estudos da Atualização do Zoneamento Ecológico - Econômico da área de Proteção Ambiental do Passaúna (COBRAPE 2000). A vegetação da bacia hidrográfica do rio Passaúna, dos anos 1991 e 2000 adotados neste estudo, foram enquadradas no sistema de classificação da vegetação brasileira do IBGE (Velooso 1991).

#### 3.2.8.2.1. Campos Naturais

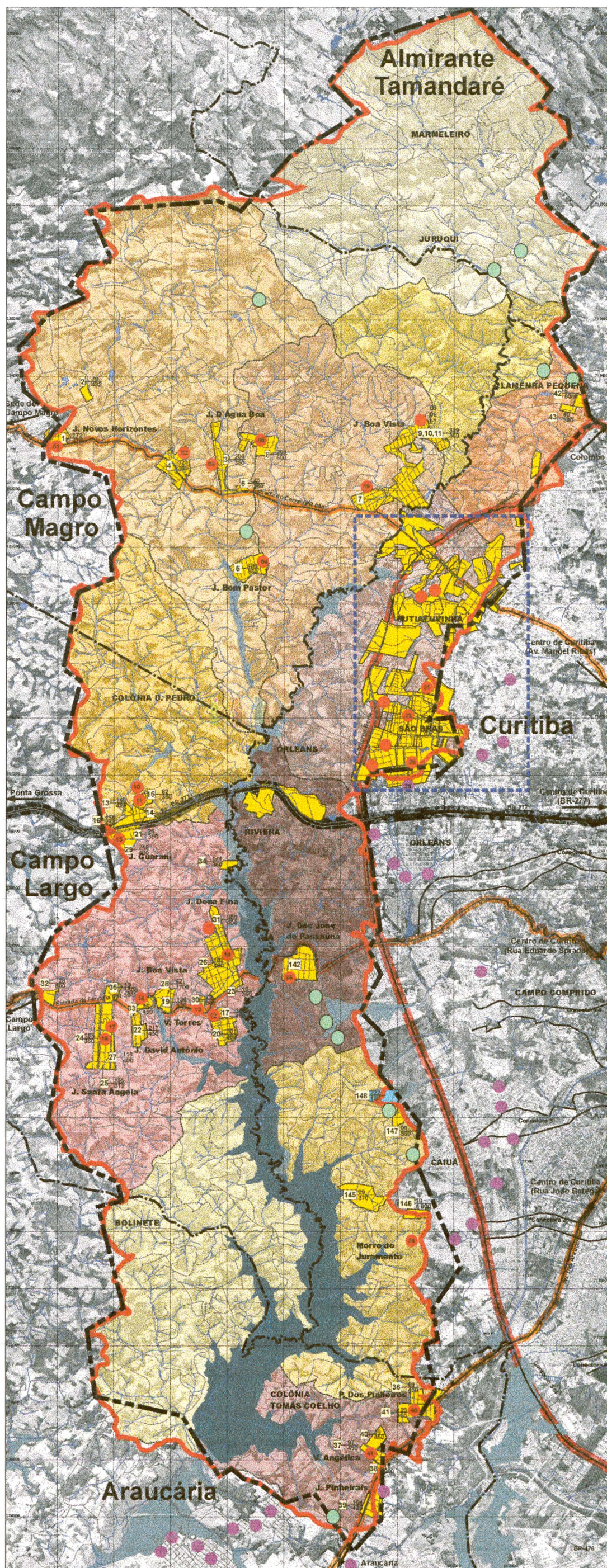
##### a) Estepe Gramíneo-Lenhosa (Campos Secos)

A maior parte dos campos secos existentes na região do reservatório Passaúna já haviam sido convertidos para algum tipo de uso rural (pastagem, agricultura, reflorestamentos), pouco antes do alagamento da área (Curitiba 1986). De acordo com esta referência, as poucas regiões encontradas com aspecto natural continham um tapete de gramíneas, ervas e arbustos das famílias *asteraceae*, *cyperaceae*, *leguminosae*, *myrtaceae* e *plantaginaceae*. Apesar disto, pequenas áreas com campos naturais, 0,65%, ainda podem ser observadas à montante da represa do Passaúna. Ocupam o início de encostas suaves, a partir do limite dos campos alagados (várzeas), em áreas menos sujeitas a inundações.

##### b) Estepe Gramíneo-Lenhosa (Campos Úmidos ou Várzeas)

Os campos alagados, brejos ou várzeas, como mais comumente são chamados, aparecem onde depressões do terreno permitem o acúmulo de matéria orgânica e água, tanto nas encostas, como mais comumente, nas margens dos rios. No Passaúna foram encontradas, em locais sempre cobertos pela





#### Loteamentos

Lot. n° de lotes  
lote modal

#### Almirante Tamandaré

- 1- Jd. Novos Horizontes
- 2- Vila São Roque
- 3- Jd. D'Água Boa
- 4- Jd. Viviane
- 5- Jd. Bom Pastor
- 6- Jd. Veneza
- 7- Jd. Cecília
- 8- Jd. Pinheiro
- 9- Jd. Boa Vista I
- 10- Jd. Boa Vista II
- 11- Jd. Boa Vista III
- 12- Jd. Boa Vista IV

#### Campo Largo

- 13- Jd. Guarani II
- 14- Lt. Orleans
- 15- Jd. Dom Pedro II\*
- 16- V. São Pedro
- 17- V. Torres
- 18- V. Dona Fina
- 19- Jd. Boa Vista
- 20- Pl. Vila Torres II
- 21- Jd. Guaraca
- 22- V. David Antônio
- 23- Jd. Ipoméia
- 24- Jd. Kelli Cristina
- 25- Jd. Santa Angela
- 26- V. Gilcy
- 27- Jd. São Lucas
- 28- Jd. Barrichelo
- 29- Jd. Guarani\*
- 30- V. Déa
- 31- Pl. Bom Jardim
- 32- Pl. Mato Grosso
- 33- Jd. Bom Jesus
- 34- V. Cirene\*
- 35- Herdeiros de João Heimoviski\*

#### Araucária

- 36- Parque dos Pinheiros II
- 37- V. Angélica
- 38- Lt. São Felipe
- 39- Jd. Pinheirais
- 40- Jd. São Pedro
- 41- Parque dos Pinheiros I

#### Curitiba

- 42- Artemira G. Almacellas
- 43- Lamenha Pequena
- 44 a 141- loteamentos Butiatuvinha e São Brás
- 142- Pl. São José do Passaúna
- 143- Pl. David Kaminski
- 144- Pl. Thomaz Ivankio
- 145- Pl. Jardim Terver
- 146- Pl. Jardim Daros
- 147- 1.746
- 148- Moradias Passaúna

#### Ocupações Irregulares

● ocupação irregular

#### Campo Magro

- 1- J. Novos Horizontes
- 2- J. Viviane
- 3- J. D'Água Boa
- 4- J. Bom Pastor
- 5- J. Boa vista I
- 6- J. Boa vista II
- 7- J. Boa Vista III
- 8- J. Pioneiro
- 9- J. Cecília

#### Campo Largo

- 10- Vila Dom Pedro
- 11- Jd. Dom Pedro II
- 12- Vila Torres
- 13- Vila Déa
- 14- Bom Jardim
- 15- Vila Guarani
- 16- Parque Bom Jesus
- 17- São Lucas
- 18- Santa Angélica

#### Curitiba

- 19- Condomínio Alvorada Ivai
- 20- Três Pinheiros
- 21- Virgínia
- 22- Mandarim
- 23- Rica
- 24- Iolonda
- 25- Damásio
- 26- Canidé
- 32- Jardim Veneza
- 33- Sandra
- 34- São José do Passaúna
- 35- Morro do Juramento

#### Araucária

- 40- Pl. dos Pinheiros I
- 41- V. Angélica

● Ocupação Tradicional

#### Sistema Viário Básico

- Contorno norte
- Estradas
- Br
- Conectoras

- Limite bacia
- Limites Municipais
- Limite da APA

Escala:  
0 0,5 1 2 Km  
1:75.000



Figura 3.5 - Localização dos loteamentos e ocupações levantadas para atualização do Zoneamento Ecológico-Econômico da APA do Passaúna, na área da bacia hidrográfica do reservatório Passaúna.  
Fonte: COBRAPE (2000).



água, plantas como os aguapés (*Eichhornia crassipes* e *E. azurea*), a taboa (*Typha angustifolia*), a elódea (*Elodea densa*), erva-de-bicho (*Polygonum sp*), algumas ciperáceas como *Heleocharis elegans*, *Rhynchospora spp* e *Cyperus spp*, além das gramíneas *Andropogon virgatus*, *Panicum subjunceum* e *Paspalum spp* (Curitiba 1986). Campos secos e úmidos são formações bastante raras, não ocupando mais do que 0,70% da área da bacia hidrográfica.

### 3.2.8.2.2. Região da Floresta Ombrófila Mista

#### a) Floresta Ombrófila Mista Montana

De acordo com Veloso (1991) a floresta ombrófila mista, conhecida mais popularmente como “mata de araucária”, “pinheiral” ou floresta com *Araucaria angustifolia*. Ainda com gêneros primitivos como *Drimys* e Araucária (australásicos) e *Podocarpus* (afro-asiático).

Klein e Hatschbach (1962), mapearam pequenos núcleos remanescentes na parte superior do reservatório Passaúna, classificados no presente trabalho na forma de floresta secundária, porém não ocupando mais do que 1,40% da bacia hidrográfica do reservatório Passaúna.

#### b) Floresta Ombrófila Mista Aluvial

A floresta ombrófila mista aluvial, também denominada de mata ciliar, ripária, ou de galeria, é uma formação que ocorre em áreas restritas, com solos úmidos sujeitos a inundações periódicas, como originalmente devia ocorrer em praticamente todo a extensão do vale rio Passaúna. É tratada como uma vegetação higrófila, que sofre influência marcante dos cursos d’água aos quais está relacionada em Silva et al. (1992).

Formada por árvores de porte médio, como a espécie dominante tendo sido citado o branquilha (*Sebastiania klotzkiana* e *S. brasiliensis*), e também a presença de outras como o açoita-cavalo (*Luehea divaricata*), o cambuí-do-brejo (*Myrceugenia regneliana*), a embira-branca (*Daphnopsis racemosa*), o tarumã (*Vitex megapotamica*), a guaçatunga (*Casearia decandra*), cafezeiro-do-mato (*Casearia sylvestris*) e o vacunzeiro (*Allophylus edulis*). Sobressaindo eventualmente, aparece a palmeira Jerivá (*Syagrus romanzoffianum*). Trechos de floresta aluvial bastante fragmentados, aparecem hoje em cerca de 4,13% da bacia hidrográfica.

### 3.2.8.2.3. Sistema de Vegetação Secundária

A vegetação secundária é aquela que resulta de alterações antrópicas, surgindo imediatamente após a destruição da floresta ou abandono de terrenos cultivados e pastos, sendo demonstrada através do aparecimento de estágios sucessionais secundários (capoeiras), que tendem, entretanto, a reconstituir as condições de microclimas e solos favoráveis à instalação de outras espécies arbóreas do ambiente original caso não sejam novamente perturbados.

A maior parte dos remanescentes florestais existentes hoje cerca de 28,95% da bacia hidrográfica corresponde a áreas com vegetação secundária que subsiste em locais anteriormente

ocupados pela floresta ombrófila mista (floresta com *Araucaria angustifolia*).

a) 2ª/3ª Fase de Sucessão Secundária (Capoeirinha)

No Passaúna (Curitiba 1986), aparecem espécies como carquejas e tupixabas (*Baccharis*, *Vernonia*, *Simphyopappus*), além dos cambarás (*Lantana camara* e *L. lilacina*) e fumo-bravo (*Solanum* sp.). Nesta vegetação emergem esporadicamente representantes arbóreos das fases sucessionais seguintes ou mesmo da floresta original através de rebrotas, como os de aroeira (*Schinus terebinthifolius*), pessegueiro-bravo (*Prunus sellowii*), caroba (*Jacaranda puberula*), que preparam o terreno para o gradual aparecimento da capoeira. Devido ao uso intensivo e valorizado da terra na bacia hidrográfica, provavelmente convertidas para agricultura ou reflorestamentos, as capoeirinhas ocupam pequena área, cerca de 0,65% da área da bacia hidrográfica.

b) 4ª/5ª Fase de Sucessão Secundária (de capoeira a floresta secundária)

A maior parte dos remanescentes florestais da área de estudo (28,30%), está representada por estágios arbóreos médios da vegetação secundária (capoeiras), sendo esta a mais extensa associação vegetal que subsiste na bacia hidrográfica. Nas capoeiras podem ser observadas, entre outras, as seguintes espécies: cedro (*Cedrella fissilis*), erva mate (*Ilex paraguariensis*), canela guaicá (*Ocotea puberula*), aroeira (*Schinus terebinthifolius*), mamica de porca (*Zanthoxylum* sp), leiteiro (*Sapium glandulatum*), capororocão (*Myrsine umbellata*), capororoquinha (*Myrsine ferruginea*), carvalho brasileiro (*Roupala brasiliensis*), espinheira santa (*Maytenus* sp), araquá (*Psidium* sp), além da conífera *Podocarpus lambertii* (pinho-bravo). A palmeira (ARECACEAE) indaiá ou jerivá, quando presente, sobressai-se pelo diâmetro sensivelmente maior. A bracatinga (*Mimosa scabrella*) pode aparecer nas porções iluminadas destes ambientes.

#### 3.2.8.2.4. Uso da Terra para Silviagropecuária

Além da vegetação primária e estágios secundários, algumas parcelas da vegetação original que ocupava a área de estudo, foram parcialmente substituídas por plantios homogêneos com espécies exóticas (*Pinus* sp., *Eucalyptus* sp.) ou nativas como o próprio pinheiro-do-paraná, ou mais comumente pela bracatinga (*Mimosa scabrella*), que ocupa 6,50% da área da bacia hidrográfica do reservatório Passaúna. Podem ser encontrados ainda exemplares isolados destas espécies, provavelmente decorrentes de propagação espontânea. Após a formação e corte de um primeiro bracatingal, os terrenos costumam ser aproveitados para plantio de milho e feijão. O uso do fogo para limpeza do terreno quebra a dormência da semente da bracatinga, podendo matar, porém, as outras espécies. A bracatinga cresce junto com as culturas agrícolas, em um típico sistema agrosilvicultural da região. Entretanto, pastos ou mais comumente áreas agrícolas substituindo florestas ou campos naturais vem se tornando cada vez mais a vegetação predominante na área estudada, cerca de 55,35% da área da bacia hidrográfica.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 CONSIDERAÇÕES HISTÓRICAS

O estudo do assoreamento do reservatório da barragem do rio Passaúna visou avaliar o estado atual de assoreamento, ocorrido no período de 1990 a 2002, por meio da caracterização textural dos sedimentos acumulados no fundo do reservatório, bem como definir suas prováveis áreas-fonte.

Para alcançar tais objetivos, se realizou:

- a) Avaliação qualitativa do potencial erosivo da bacia hidrográfica através da aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo – USLE para identificar áreas com diferentes potenciais erosivos;
- b) Análise da distribuição dos parâmetros texturais do material sedimentar inconsolidado acumulado no reservatório da barragem, mediante análise granulométrica do material inorgânico de amostras de sedimentos de fundo e avaliação de perfis de testemunhos verticais, para identificar possíveis áreas-fonte;
- c) Avaliação do estado atual de assoreamento e sua relação com a ocupação da bacia hidrográfica, visando propor medidas de mitigação ao processo de erosão da bacia hidrográfica e do assoreamento do reservatório.

As áreas-fonte de sedimentos de assoreamento têm sido referidas aos entornos do reservatório ou aos aportes fluviais provenientes da área de influência da bacia hidrográfica. O volume de sedimentos removidos pela erosão é controlado por diversos fatores, destacando-se a extensão e inclinação das encostas, a natureza dos solos da área da bacia, a cobertura vegetal existente, ao manejo agrícola a que estiverem sujeitas as terras, e as ocupações com loteamentos ou outras obras civis que exponham grande superfície de terra, na forma de cortes, aterros ou mesmo bota-foras. O aporte de sedimentos pode ser significativo já que, mesmo que a fonte se situe distante da barragem, todo o sedimento que atinge determinado curso d'água tende a chegar ao reservatório. Das considerações precedentes, o assoreamento será abordado ao nível da bacia hidrográfica.

A literatura pertinente registra várias tendências de pesquisa. A primeira desenvolvida nas décadas de 40 e 50, mostra uma preocupação em quantificar o aporte de sedimentos por índices e fórmulas de transporte da descarga sólida fluvial (e. g. Whitzig 1944 apud Ponçano 1981). As pesquisas seguintes visavam investigar o material depositado nos reservatórios com avaliação do transporte e deposição dos sedimentos (e. g. Perkins e Culberton 1970 apud Ponçano 1981). Os estudos posteriores visavam avaliar o processo de assoreamento levando em consideração as características do ambiente (local do reservatório, seus entornos e área da bacia hidrográfica), os condicionantes geológicos-geotécnicos, a caracterização do material depositado e as fontes geradoras destes materiais. Desta fase, podemos destacar: Ponçano 1981, ELETROBRÁS 1991, Carvalho 1994, SUDERHSA 1998, Carvalho 2000. Mais recentemente, estudos globais sobre os diversos fatores que

interferem no assoreamento de reservatório consideram o meio ambiente e se utilizou sistemas de informações georreferenciadas (Diniz 1998, Pinto 1998) e estudos de assoreamento na definição de geoindicadores ambientais em áreas urbanas (Campos et al. 1998, Grecchi e Pejon 1998, Ridente et al. 1998, Wilson 1998, Campagnoli 2002). Carvalho (2000) descreve que os sedimentos não são somente um dos maiores poluentes da água, mas também servem como catalisadores e carreadores, e como agentes fixadores para outros agentes poluidores. O sedimento degrada a água para consumo humano, industrial, entre outros. Produtos químicos e lixo são assimilados sobre e dentro das partículas de sedimento, tornando-o agente potencializador dos problemas causados por pesticidas, agentes químicos decorrentes do lixo, resíduos tóxicos, nutrientes e bactérias patogênicas.

O assoreamento do reservatório tem afetado a qualidade da água e comprometido seu uso para o consumo humano, com a criação de condições para a proliferação de algas (SANEPAR 2002).

#### 4.2 ROTEIRO DE PESQUISA

Com base nos objetivos estabelecidos e na análise da bibliografia existente, elaborou-se uma proposta de roteiro de investigações com cinco etapas básicas de desenvolvimento, apresentadas a seguir:

- 1) Reconhecimento da área da bacia hidrográfica a montante da barragem. Esta etapa compreendeu:
  - a) Levantamento bibliográfico sobre a bacia hidrográfica e processos erosivos;
  - b) Compilação de dados cartográficos, geológicos, geomorfológicos, pedológicos, mapa de uso e ocupação de solo;
- 2) Determinação do potencial erosivo da bacia hidrográfica
 

A estimativa deste potencial foi realizada a partir da integração de parâmetros que interferem nos processos de erosão laminar, causada pela chuva a nível de vertentes, com:

  - a) Obtenção dos dados sobre o fator R;
  - b) Obtenção dos dados sobre o fator K;
  - c) Obtenção dos dados sobre o fator LS;
  - d) Obtenção dos dados sobre o fator CP, ano 1991 e 2000;
  - e) Aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo – USLE.
- 3) Caracterização da distribuição granulométrica do material depositado, envolvendo:
  - a) Levantamento e registro através de sonografia (imageamento com sonar) do fundo do reservatório;
  - b) Interpretação dos registros do imageamento com sonar;
  - c) Definição dos locais de coleta de sedimentos da superfície e subsuperfície de fundo;
  - d) Coletas de amostras de sedimentos da superfície de fundo com amostrador tipo *Box Corer*;
  - e) Coleta de material sedimentar da subsuperfície de fundo com testemunhador vertical;
  - f) Análises granulométricas do material coletado (sedimentos de fundo);

- g) Análise do teor de matéria orgânica das amostras de sedimentos de fundo;
- h) Descrição textural do material sedimentar dos testemunhos verticais;

#### 4) Detecção das principais áreas-fonte do material depositado

Nesta etapa foram reunidos dados de campo e laboratório visando relacionar áreas de maior potencial de fornecimento de sedimentos e suas conseqüências no assoreamento do reservatório. Elementos obtidos por:

- a) Reconhecimento de campo de áreas-fonte na produção sedimentar;
- b) Confecção de mapas com a determinação das áreas e potenciais erosivos relativos para a bacia hidrográfica, para os anos 1991 e 2000;
- c) Confecção de mapas com distribuição dos parâmetros granulométricos dos sedimentos de fundo;
- d) Elaboração de perfis (descrição detalhada) do material coletado com o testemunhador vertical;

#### 5) Análise dos resultados, discussão, conclusão e recomendação

- a) Elaboração de mapas e gráficos de síntese, com indicações das áreas de maior potencial erosivo e das principais áreas de proveniência de sedimentos;
- b) Indicação de medidas preventivas, apoiadas nas conclusões a respeito da origem dos sedimentos.

Na figura 4.1 se destacam as principais atividades realizadas.

### 4.3 MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS

#### 4.3.1 Reconhecimento da área da bacia hidrográfica a montante da barragem

O estudo sobre o assoreamento do reservatório da barragem do rio Passaúna iniciou-se por uma revisão bibliográfica sobre a bacia hidrográfica, o reservatório e sobre processos erosivos. Sobre a bacia hidrográfica e o reservatório destacam-se os trabalhos desenvolvidos pela COMEC (1976, 1986, 1988, 1991, 1995, 1996), MINEROPAR (1989), SANEPAR (1992), COBRAPE (2000) e SANEPAR/CONSILIU (2002). Destes trabalhos se utilizou, neste estudo, mapas geológicos, geomorfológicos, pedológicos, de declividade, de ocupação e uso do solo, e de vegetação.

Para o desenvolvimento dos estudos de assoreamento no reservatório em escalas mais detalhadas, a partir da escala 1:10.000, desenvolveram-se adaptações aplicadas às necessidades de logística operacional, a saber: uso de uma embarcação de pequeno porte adaptada às investigações de geofísica (sonografia) e coletores de sedimentos do fundo (amostrador e testemunhador). A localização dos pontos amostrados, em coordenadas georreferenciadas, foi feita com uso de GPS, depois lançados na base cartográfica digital, escala 1:10.000. Os equipamentos utilizados nas atividades dessa pesquisa, a participação de diversos profissionais e a elaboração de mapas, figuras e fotografias, foram obtidos por colaboração de instituições e profissionais, além do apoio logístico do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Paraná de São José dos Pinhais.

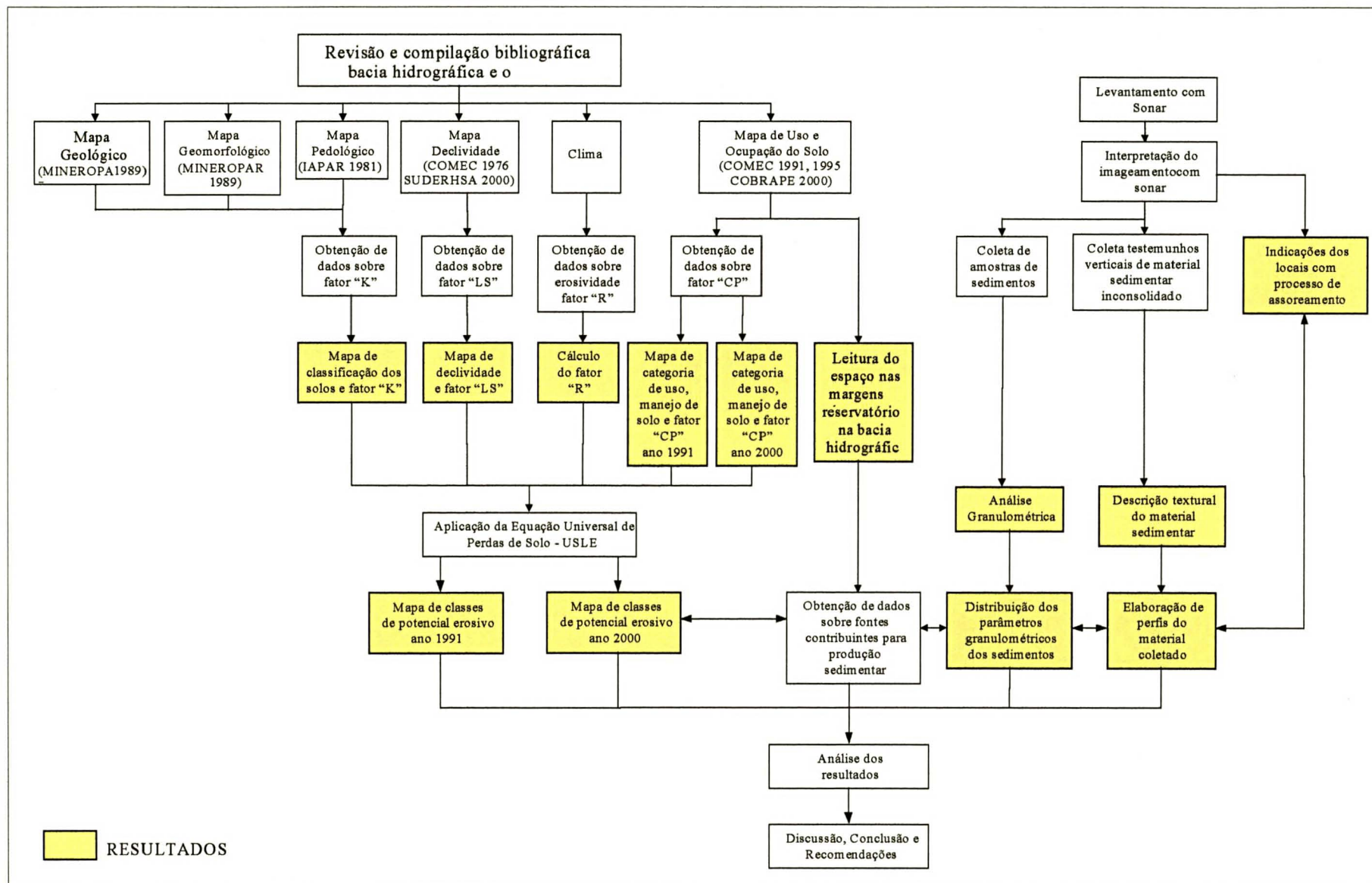


Figura 4.1 – Fluxograma das operações realizadas neste estudo.



#### 4.3.2 Caracterização visual do fundo do reservatório com aplicação de sonografia

A investigação de áreas submersas em lagos, rios e áreas costeiras, pode ser realizada com geofísica aplicada através de métodos indiretos (perfilagem sísmica contínua e sonografia) que permitem a determinação das espessuras das camadas de sedimentos inconsolidados, a profundidade do embasamento e a presença de estruturas sedimentares (IPT 1986, 1996, Souza 1995, Souza et al. 1996).

No reservatório Passaúna foram realizados estudos geofísicos com sonografia (sonar de varredura lateral). Os equipamentos e materiais de coleta foram transportados por barco de pequeno porte, cedido pela SUDERSHA. No campo procedeu-se o levantamento e registro das imagens da sonografia através de navegação pelo reservatório com uso do equipamento *Klein Side Scan Sonar* modelo 530. Os registros em papel foram posteriormente escanerizados pôr técnicos do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT. O roteiro foi georreferenciado com uso de GPS, depois lançado sobre a base cartográfica digital (Fig. 4.2).

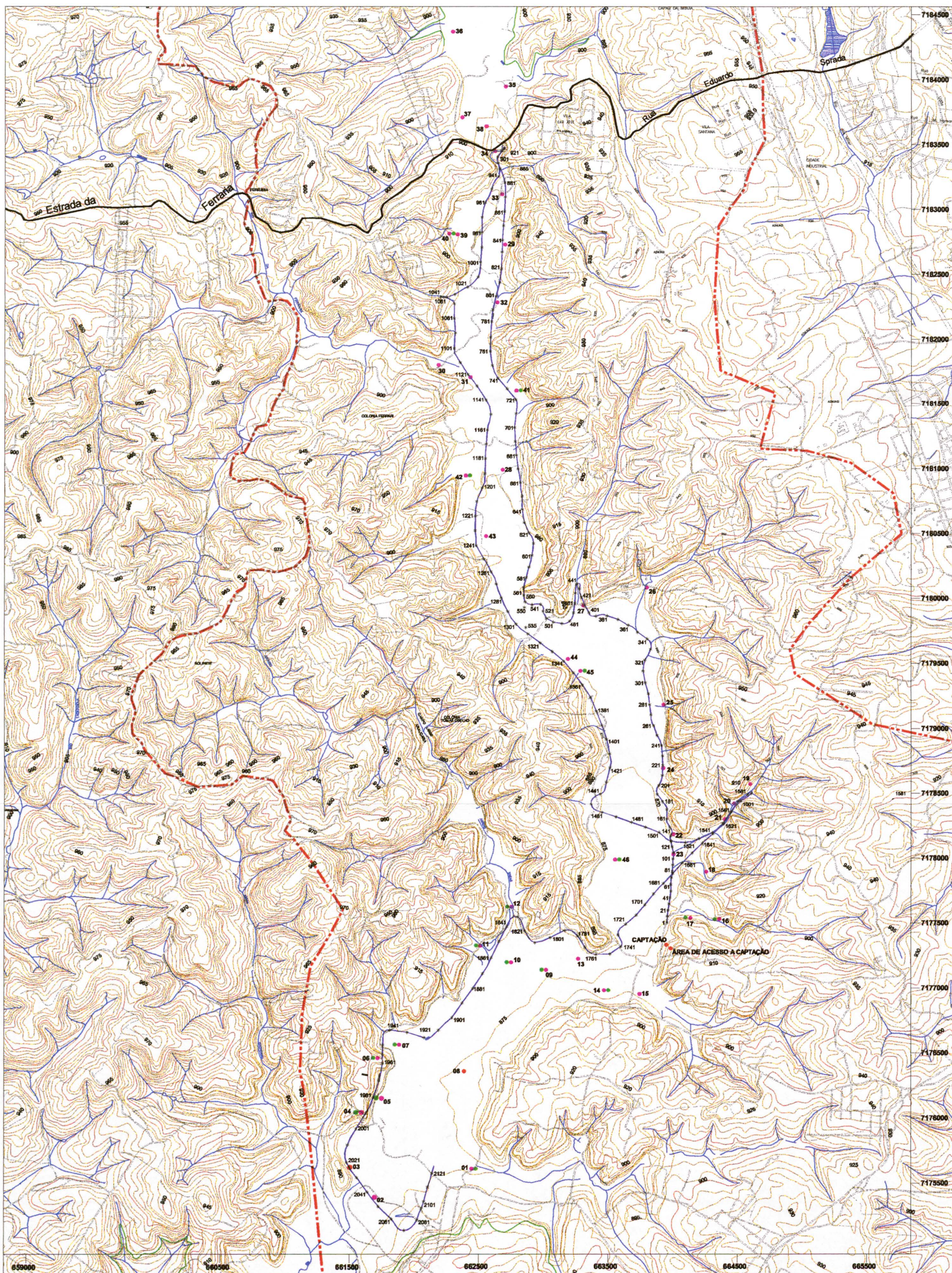
Esses trabalhos estiveram voltados ao levantamento das características gerais da superfície de fundo, da espessura da coluna d'água, dos estratos sedimentares inconsolidados e rasos (assoreamento e aluviões antigos) e para indicação da localização dos melhores pontos para amostragem do material do fundo do reservatório. Nesta etapa foram executados um total de 21,5 km de levantamento com sonar. O assoreamento não foi estudado em sua dinâmica sedimentar, características químicas e influência na poluição das águas do reservatório, aspectos a serem abordados em etapas de estudos futuros.

##### 4.3.2.1 Método de investigação indireta por sonografia

A sonografia constitui um método indireto de investigação de áreas submersas e está baseada nos princípios de propagação do som na água e da reflexão dos sinais acústicos na superfície de fundo. Utiliza como fonte sinais sísmicos transdutores piezoelétricos com espectros de frequência de 100 a 500 KHz.

O levantamento através da sonografia foi feito com a emissão de um sinal acústico de alta frequência em intervalos de tempo regulares, por dois transdutores submersos (sonar) que apontam para ambos os lados da superfície do fundo (varredura lateral), em relação ao rumo da navegação (Fig. 4.3). Os mesmos transdutores de emissão do sinal acústico são também responsáveis pela recepção do sinal, oriundos da reflexão na superfície do fundo. O sinal acústico de alta frequência emitido pelo sonar não penetra através dos estratos sedimentares porem possibilita a obtenção de informações detalhadas da superfície do fundo, tais como, contatos litológicos e estruturas sedimentares.





CONVENÇÃO

- PERCURSO DO BARCO COM EQUIPAMENTO DE SONOGRAFIA
- CURVA DE NÍVEL DA BASE CARTOGRÁFICA (EM M)
- LIMITE DA BACIA HIDROGRÁFICA
- FUNDO DE VALE

- PONTO DE COLETA DA AMOSTRA DO FUNDO
- PONTO DE COLETA DE TESTEMUNHO VERTICAL
- PONTO SOBRE CANAL DO VERTEDOR EM CONCRETO (NÃO FOI POSSÍVEL A COLETA DA AMOSTRA)

Escala:  
0 250 500m  
1:25.000



Figura 4.2 - Roteiro da sonografia realizada com indicação dos pontos de coleta de amostra de sedimentos de fundo e de testemunhos verticais.  
Fonte do mapa base: COMEC 1976.



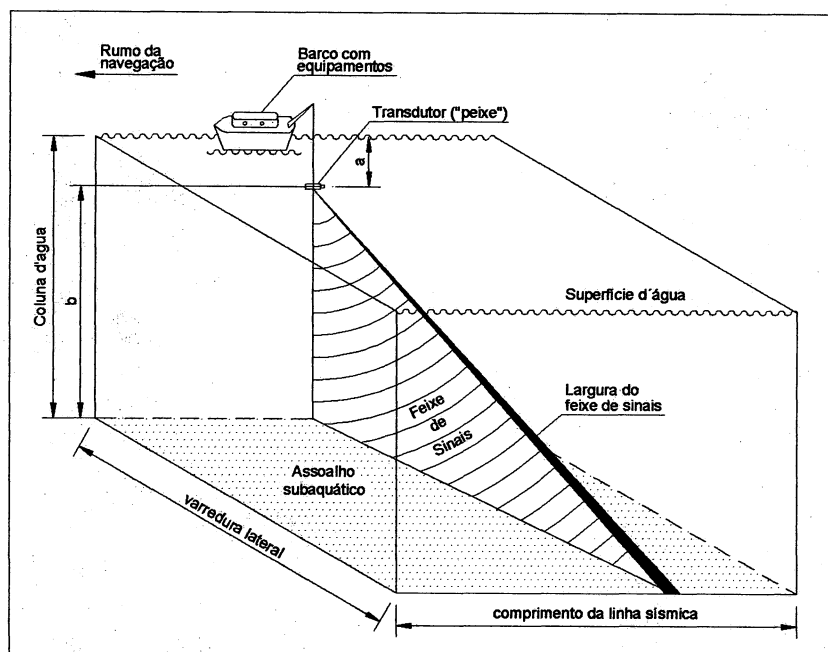


Figura 4.3A – Seção representativa da posição dos equipamentos (barco e transdutor) e indicação da área de varredura lateral da imagem na aplicação da sonografia para o fundo do reservatório.

Fonte: Souza (1988).

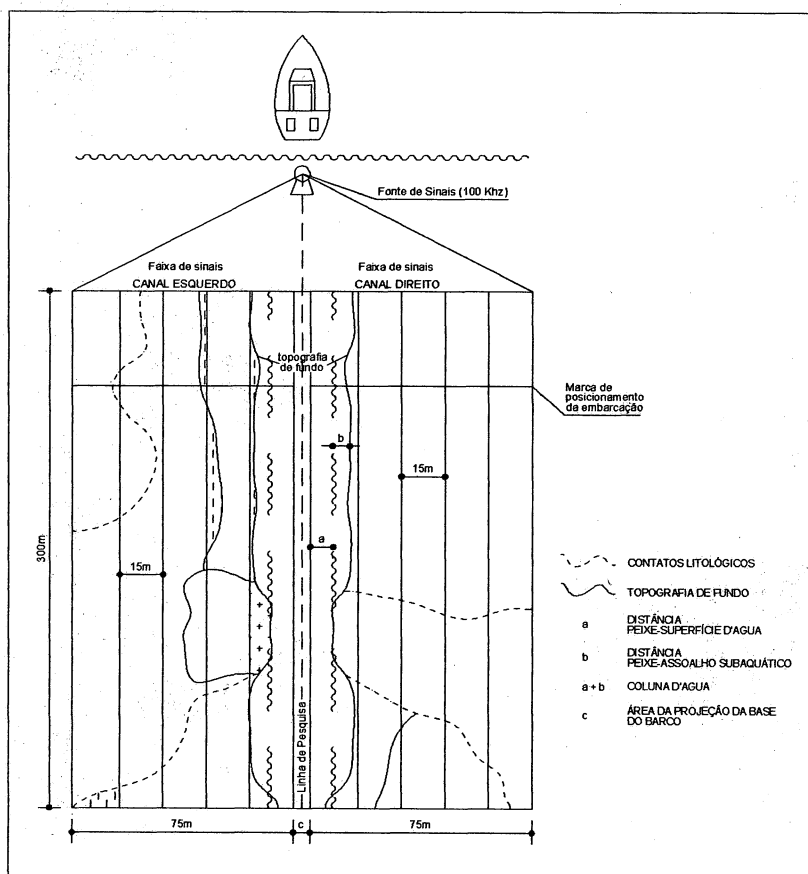


Figura 4.3B – Esquema em planta, representativo da posição dos equipamentos (barco e transdutor) e indicação da área de varredura lateral da imagem na aplicação da sonografia para o fundo do reservatório.

Fonte: Souza (1988).

#### 4.3.2.2 Levantamento de dados

O levantamento de dados para a caracterização visual do fundo do reservatório constituiu-se basicamente em quatro etapas:

- a) Seleção do percurso do barco no reservatório, considerando passagens sobre o leito do canal principal do rio Passaúna, estradas antigas, cruzamento com as desembocaduras e canais de tributários principais da bacia hidrográfica, para identificação e caracterização de áreas com depósitos de material sedimentar inconsolidado;
- b) Trabalho de campo com o intuito de caracterizar o fundo do reservatório através de imagens de sonografia, realizadas com o equipamento *Klein Side Scan Sonar* Modelo 530, de propriedade do IPT transportado por barco de pequeno porte;
- c) Realização através do uso de computador dos registros digitais dos dados de campo, escanização permitindo o tratamento posterior das imagens do fundo. Estas imagens foram justapostas lado a lado para formar um mosaico dos pontos investigados com uso do software PANAVUE;
- d) Leitura e interpretação das imagens de sonar para apoio na discussão dos resultados de análise granulométrica e das características do material obtido nos testemunhos verticais do material sedimentar inconsolidado de fundo. Os critérios de interpretação das imagens utilizados foram delineados por Souza (comunicação pessoal 2002) que se resumem aos seguintes: discriminação de tonalidades, sombras, diferença de nível d'água sob o barco, variação na textura na imagem, que são usadas de modo interrelacionado. Os critérios permitem identificar distintos padrões texturais da superfície de fundo, como textura rugosa representando fundo rochoso, textura mais lisa e com aspecto mais homogêneo correspondente a depósitos sedimentares. Neste contexto podem mostrar detalhes de feições de antigos canais, planície de inundação, leitos de estradas, ou ainda marcas de variações nas curvas de nível e/ou oscilações do nível do reservatório nas margens. Textura mista em porção central a textura mais rugosa pode representar um afloramento rochoso, sedimentos arenosos ou mudança de material, entre outros.

#### 4.3.3 Determinação do potencial erosivo da bacia hidrográfica

O fenômeno da erosão consiste na ação combinada de um conjunto de fatores que provoca a liberação e o transporte de materiais sobre a superfície terrestre. Os principais agentes são a água da chuva, rios, geleiras, mares e ventos. Dentre estes, as águas pluviais têm grande importância, por propiciarem o escoamento superficial e o transporte do material inconsolidado. Pode-se classificar a erosão causada pelo escoamento superficial das águas da chuva em natural e antrópica de acordo com Oliveira et al. (1987).

A erosão é classificada como natural quando a atuação dos processos erosivos se faz em um ambiente determinado pelos fatores naturais. Esta erosão pode sofrer modificações devido a mudanças climáticas ou geológicas, alterando a velocidade e a intensidade do processo. A remoção do

material inconsolidado pode tornar-se mais rápida que sua geração a partir dos processos de intemperismo das rochas, o que caracteriza o fenômeno como de erosão acelerada. Outro tipo de erosão está relacionado à ação do homem, que provoca desequilíbrios pela interferência no ambiente natural, recebendo o nome de erosão antrópica e caracterizando-se por uma aceleração dos fenômenos erosivos, num processo mais rápido do que a erosão acelerada natural, que evolui em poucos anos e atinge áreas extensas. Tanto a erosão normal quanto à acelerada podem ocorrer de duas maneiras principais: como erosão laminar ou por escoamento concentrado. A erosão laminar afeta a superfície do solo como um todo, quando o escoamento da água de chuva ocorre sem concentrar-se em canais definidos. Quando ocorre a formação de filetes ou canais de água arrastando material tem-se a erosão concentrada. Os fenômenos de erosão concentrada podem apresentar proporções diferentes, desde pequenos sulcos ou ravinas que apresentam dimensões relativamente pequenas, até processos que atingem grandes áreas, com o aprofundamento dos canais até dezenas de metros, interceptando muitas vezes o nível d'água. Estas erosões totalmente descontroladas denominadas voçorocas causam grandes danos, em áreas rurais e urbanas.

Este processo é agravado pela ação antrópica, com a retirada da camada de solo residual ou transportado (colúvio) para construção de estradas, implantação de loteamentos, retirada de material de empréstimo e outros, deixando os sedimentos argilosos expostos. Estas argilas perdem a umidade natural e se retraem, se reidratam e se expandem com as águas das chuvas, formando uma lama facilmente transportada mesmo em pequenos gradientes em que a água se concentre em filetes e canais. Desta maneira inicia-se o processo de ravinamento que pode alcançar grandes dimensões se não forem tomadas medidas mitigadoras, cuja evolução causa danos tanto em áreas rurais como urbanas.

Carvalho (2000) considera que áreas de lavra a céu aberto ou de rejeito favorecem a ação erosiva das chuvas por muitos anos, mesmo após a exploração ter cessado.

#### a) Erosão Laminar

É um dos tipos de erosão mais importante. O início desse fenômeno ocorre quando as gotas de chuva, ao se precipitarem sobre o solo, rompem seus grânulos e torrões, transformando-os em pequenas partículas, diminuindo a capacidade de infiltração. O impacto das gotas sobre o solo abre pequenas crateras e partículas são desprendidas e lançadas a 1,0 m de altura e 1,5 m de raio de distância; Bertoni e Lombardi Neto (1990), comentam que pesquisadores têm calculado que uma única chuva pode desprender mais de 200 toneladas de partículas de solo por hectare.

Em um terreno descoberto, particularmente se cultivado morro abaixo, as chuvas intensas provocam um grande movimento de partículas no sentido de declive. Se as gotas caírem sobre finas lâminas de água, o impacto faz com que esse líquido torne-se barrento, dando ao solo menor capacidade de infiltração. Carvalho (1991), em estudo sobre o processo da origem de sedimentos,

descreve que as gotas de chuva caindo nos terrenos inclinados desagregam as partículas e lavam o solo removendo a camada superficial, sendo tanto mais intensa a erosão quanto menor a cobertura vegetal.

Para se ter noção dos efeitos do impacto da chuva sobre o solo, segundo Bertoni e Lombardi Neto (1990), uma chuva de 50 mm, com duração de 30 minutos, exerce um peso sobre o solo 560 t/ha, com um diâmetro de gota de 3 mm e velocidade terminal de 8 m/s.

Como consequência da ação do impacto das gotas de chuva, são removidas camadas delgadas de solo, aparentemente, de modo uniforme, de todas as áreas. O processo ocorre através de filetes interligados que não deixam marcas perceptíveis. Esse tipo de erosão leva, primeiramente, as partículas menores e mais leves as quais integram a parte ativa e de maior valor do solo, o que resulta em danos irreparáveis na fertilidade. Suguio e Bigarella (1979) descreveram que a erosão, transporte e deposição de sedimentos são processos que se alternam com o decorrer do tempo de acordo com a velocidade do fluxo da água.

Lepsch et al. (1983) classificou o grau de erosão laminar, conforme especificado a seguir:

Ligeira - Quando já aparente, mas com menos de 25% do solo superficial (horizonte A) removido ou, quando não for possível identificar a profundidade normal do horizonte A de um solo virgem, com mais de 15 cm do solo superficial (horizonte A) remanescente.

Moderada - Com 25 a 75% do solo superficial (horizonte A) removido ou, quando não for possível identificar a profundidade do horizonte A de um solo virgem, com 5 a 15 cm do solo superficial (horizonte A) remanescente.

Severa - Com mais de 75% do solo superficial (horizonte A) removido e, possivelmente com horizonte B já aflorando; ou quando não for possível identificar a profundidade natural do horizonte A de um solo virgem, com menos de 5 cm do solo superficial (horizonte A) remanescente.

Muito Severa - Com todo o solo superficial do horizonte A já removido e com o B bastante afetado, já havendo, em alguns casos a remoção de porções de 25 a 75% da profundidade original.

Extremamente Severa - Com o horizonte B em sua maior parte já removido, e com o horizonte C já atingido, encontrando-se o solo praticamente destruído para fins agrícolas.

#### b) Erosão em Sulcos

A água que provoca a erosão laminar vai se concentrando em pequenas depressões do terreno até atingir volume e velocidade para escoar no sentido do declive, formando sulcos irregulares, que carregam os solos até as partes mais baixas do terreno, geralmente depositados nos cursos de água.

#### c) Erosão em Voçorocas

A permanência de sulcos de erosão, com a concentração de enxurradas, que passam por vários anos no mesmo local, ampliam o deslocamento de grandes massas de solo, formando cavidades extensas e profundas, chamadas voçorocas. A voçoroca constitui-se de um canal de drenagem de

paredes abruptas, com fluxos efêmeros ou eventualmente pequenos, com erosão intensa, e termina em uma cabeceira extremamente íngreme e escarpada. As voçorocas que existem atualmente resultam geralmente da ação do homem, mas, no passado geológico originaram-se por problemas naturais. Na maioria dos casos, ocorrem em vertentes constituídas de material inconsolidado. As voçorocas naturais são cíclicas, com quatro fases, a saber: erosão do canal e do encaixamento; retrocesso de cabeceira e rápido alargamento; recomposição e estabilização. O fluxo concentrado tende a dissecar verticalmente o terreno, formando ravinas. A ampliação e a velocidade de erosão de uma voçoroca depende do processo de desmoronamento das cabeceiras, acompanhado de liquefação do material arenoso das vertentes. Os fluxos subterrâneos tubeliformes que surgem no manto de intemperismo ou nos depósitos das vertentes, que dão origem às nascentes de água, podem dar início a sulcos de erosão logo após o desmatamento, embora possam ocorrer também sob floresta em condições hídricas críticas mais raras.

Esses fenômenos surgem de forma generalizada na zona de contato entre o assoalho da voçoroca e suas paredes, que desempenham papel proeminente no alargamento da feição erosiva. Nesse contato é freqüente a ocorrência de movimentos viscosos de areia, corridas lentas formadas pela liquefação da parte inferior do talude da voçoroca, em um ambiente de areias movediças. Durante o surgimento, verifica-se o solapamento e o desenvolvimento de superfícies curvilíneas de cisalhamento, determinando a ocorrência de escorregamento em fatias.

#### d) Erosão Fluvial

Constitui-se pelos processos de retirada de detritos do fundo do leito e das margens do próprio rio, através da corrasão, corrosão e cavitação, fazendo com que passem a integrar a carga sedimentar. Atuando em todo o curso de água, a erosão fluvial é fenômeno de grande importância. No curso superior de um rio, isto é, nas regiões próximas às suas cabeceiras, onde predomina atividade erosiva transportadora, há grande quantidade de detritos fornecidos pelas águas de rolamento, os quais correm sobre as vertentes e se juntam aos detritos da atividade erosiva do próprio rio. No caso da água de rolamento, a parte que não é infiltrada no solo e nem é evaporada para a atmosfera sofre escoamento vertente para baixo em função da força de gravidade. Inicialmente, esse processo ocorre pela erosão laminar, depois em sulcos e até em voçorocas.

Nos trechos aluviais, as marcas de erosão não são facilmente perceptíveis, pois são obliteradas pela sedimentação posterior ou pela intensa movimentação detrítica, e se expressam pela conformação distributiva dos próprios sedimentos. Em leitos rochosos, as marcas topográficas são perenes e dão uma sensação de que a erosão só ocorre nesses trechos (Suguio e Bigarella 1990).

Corrosão - compreende os processos de corroer, desgastar e oxidar, ou seja, toda reação química que se verifica entre a água e as rochas superficiais que estão em contato. Abrange também as reações químicas que ocorrem entre a água e a carga detrítica transportada no leito ou em suspensão.

Corrasão ou abrasão - é o desgaste pelo atrito mecânico, geralmente através do impacto das partículas carregadas pelas águas. Suguio e Bigarella (1979) descreveram que a capacidade de erosão de um rio depende, principalmente, das partículas por ele transportadas, do que do volume de água. Que a ação corrasiva, desgaste pelo atrito mecânico, tende a eliminar a rugosidade do fundo, e os movimentos turbulentos verticais ou horizontais retiram solos das margens.

Cavitação - ocorre sob condições de velocidade elevada da água, quando as variações de pressão sobre as parcelas do canal fluvial facilitam a fragmentação das rochas.

Suguio e Bigarella (1979) descreveram que a capacidade de erosão de um rio depende, principalmente, das partículas por ele transportadas, do que do volume de água. Que a ação corrasiva, desgaste pelo atrito mecânico, tende a eliminar a rugosidade do fundo, e os movimentos turbulentos verticais ou horizontais retiram solos das margens.

#### 4.3.3.1 Equação de perdas de solo

##### a) Histórico

Os primeiros trabalhos para desenvolver equações que avaliassem as perdas de solo de uma área datam de 1940, para a região do *Corn Belt* dos Estados Unidos. Zingg (1950), Smith (1941), Browning et al. (1947), Musgrave (1947), Wischmeier e Smith (1960), efetuaram modificações nas equações que superaram as restrições climáticas ou geográficas próprias dos primeiros estudos. Wischmeier e Smith (1978) revisaram-na, atualizando e incorporando-lhe novos dados disponíveis, definindo a USLE.

##### b) Erosão Laminar nos Interflúvios

A avaliação da erosão laminar nos interflúvios pode ser feita através do estudo da distribuição espacial dos principais fatores responsáveis pela erosão provocada pelas chuvas, tais como são definidos pela equação universal de perdas de Solo - USLE. Essa equação foi desenvolvida como um método para estimar a média anual de perda de solo decorrente da erosão hídrica para uma parcela agrícola. Willians (1975) adaptou os procedimentos de obtenção dos índices desta equação para bacias hidrográficas.

##### c) Histórico no Brasil

No Brasil, os principais trabalhos de aplicação da equação de perdas de solo foram desenvolvidos por Bertoni et al. (1975), IAPAR/ EMBRAPA (1975), IAPAR (1978, 1979, 1980), Mondardo (1977), Mondardo et al. (1978), Mondardo e Biscaia (1981), GTZ (1995).

Neste estudo, a determinação do potencial erosivo na bacia do reservatório do rio Passaúna foi feita mediante aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo - USLE. Os valores obtidos foram tratados e classificados por intervalos para a geração de um mapa de potencial erosivo relativo que discrimina áreas com diferenças relativas de suscetibilidade erosiva.



#### 4.3.3.2 Equação Universal de Perdas de Solo - USLE

A Equação Universal de Perdas do Solo exprime a ação dos principais fatores considerados determinantes na erosão pela chuva. Trata-se de um modelo empírico. Foi desenvolvido como um método para estimar a média anual de perda de solo decorrente da erosão hídrica, oriunda da erosão laminar, em função de seis fatores independentes, sendo  $A = R K L S C P$ , onde:

- A = Perda de solo (t/ha)
- R = Erosividade da chuva ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ )
- K = Erodibilidade do solo (t/ha (t m/ha mm/h))
- L = Comprimento de rampa (m)
- S = Declividade (%)
- C = Uso de manejo do solo
- P = Práticas conservacionistas

Sendo:

- A = Perda de solo calculada por unidade de área;
- R = Fator chuva: índice de erosão pela chuva. Capacidade de um determinado evento pluviométrico ( $I_{30}$ ) em promover a desagregação e transporte do solo;
- K = Fator erodibilidade do solo: intensidade de erosão por unidade de índice de erosão da chuva, para um solo específico que é mantido continuamente sem cobertura, mas sofrendo as operações culturais normais, em um declive de 9% e comprimento de rampa de 25 m. Exprime a susceptibilidade do solo à erosão, exclusivamente em decorrência de características intrínsecas (composição, estrutura, textura);
- L = Fator comprimento do declive: relação de perdas de solo entre um comprimento de declive qualquer e um comprimento de rampa de 25 m para o mesmo solo e grau de declive;
- S = Fator grau de declive: relação de perdas de solo entre um declive qualquer e um declive de 9% para o mesmo solo e comprimento de rampa;
- C = Fator de uso de manejo: relação entre perdas de solo de um terreno cultivado em dadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto e cultivado, isto é, nas mesmas condições em que o fator K é avaliado;
- P = Fator práticas conservacionistas: relação entre as perdas de solo de um terreno cultivado com determinada prática e as perdas quando se planta morro abaixo (plantio segundo a linha de maior declive).

##### 4.3.3.2.1 Fator erosividade das chuvas - R

O fator erosividade das chuvas (R) é um índice numérico que expressa a capacidade da chuva, esperada em dada localidade, de causar erosão em uma área mantida sem cobertura vegetal e cultivada. A pluviosidade (precipitação pluvial) é um dos elementos com maior importância para avaliação da erosão dos solos. Wischmeier e Smith (1958) determinaram que o produto da energia cinética total (EC) pela intensidade máxima em trinta minutos expressa a melhor relação para avaliar a erosão, considerando: impacto das gotas da chuva, desagregação do solo, turbulência do fluxo e transporte das partículas. Lal (1976) e Wilkinson (1975) introduziram modificações no método de Wischmeier e Smith (1958). Castro et al. (1982 in IAPAR 1982) obtiveram a primeira aproximação do potencial erosivo das chuvas do Estado do Paraná. Rufino (1986) determinou a segunda aproximação

para trinta e duas localidades. Fournier (1960) determinou o coeficiente de chuva mediante valores quantitativos de precipitação e Lombardi Neto (1977) obteve altas correlações entre o índice de erosão e o coeficiente de chuva para a estimativa do potencial erosivo das chuvas para o Estado de São Paulo. Morais et al. (1988) e Carvalho et al. (1989) relataram que o índice de erosão das chuvas avaliadas para condições específicas do Rio Grande do Sul e de São Paulo representou o melhor parâmetro para a estimativa de perdas do solo. Rufino (1993) em terceira aproximação (Fig. 4.4), utilizou dados de precipitação pluvial de 1972 a 1989, obtidos por pluviômetros e pluviógrafos, de trinta e uma estações da rede meteorológica do Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR, e os de pluviômetros de 144 postos, com período de recorrência de 25 a 100 anos, da rede meteorológica da Superintendência de Recursos Hídricos e Meio Ambiente do Paraná – SUREHMA. Santos e Gomes (1998) caracterizaram índice de erosividade para a porção oriental do estado do Paraná em análise à erosão da região.

A região de estudo, bacia do rio Passaúna, está enquadrada pelo estudo na região 8, representada pela equação  $y = 3,39 + 4,15 x$  (Rufino 1993), onde  $x$  é igual a  $p^2/P$ , sendo  $p^2$  = precipitação média mensal (mm) e  $P$  = precipitação média anual (mm), conforme determinação de Fournier (1960) para o coeficiente de chuvas a partir de dados quantitativos das precipitações. Os dados de precipitações adotadas para a bacia do rio Passaúna constam do Banco de Dados Pluviométricos do Estado do Paraná, posto da ANEEL (SUDERHSA 2002), considerando-se a estação da barragem Passaúna, no município de Araucária localizada na latitude 25° 32' S e longitude 49° 23' W, com medições no período de 05/1983 à 04/2001 (Anexo 3.2).

#### 4.3.3.2.2 Fator erodibilidade do solo - K

Alguns solos são mais facilmente erodidos que outros, mesmo quando o declive, a precipitação, a cobertura vegetal e as práticas de controle de erosão são as mesmas. Essa diferença é devida à propriedades inerentes ao solo e referida como erodibilidade do solo.

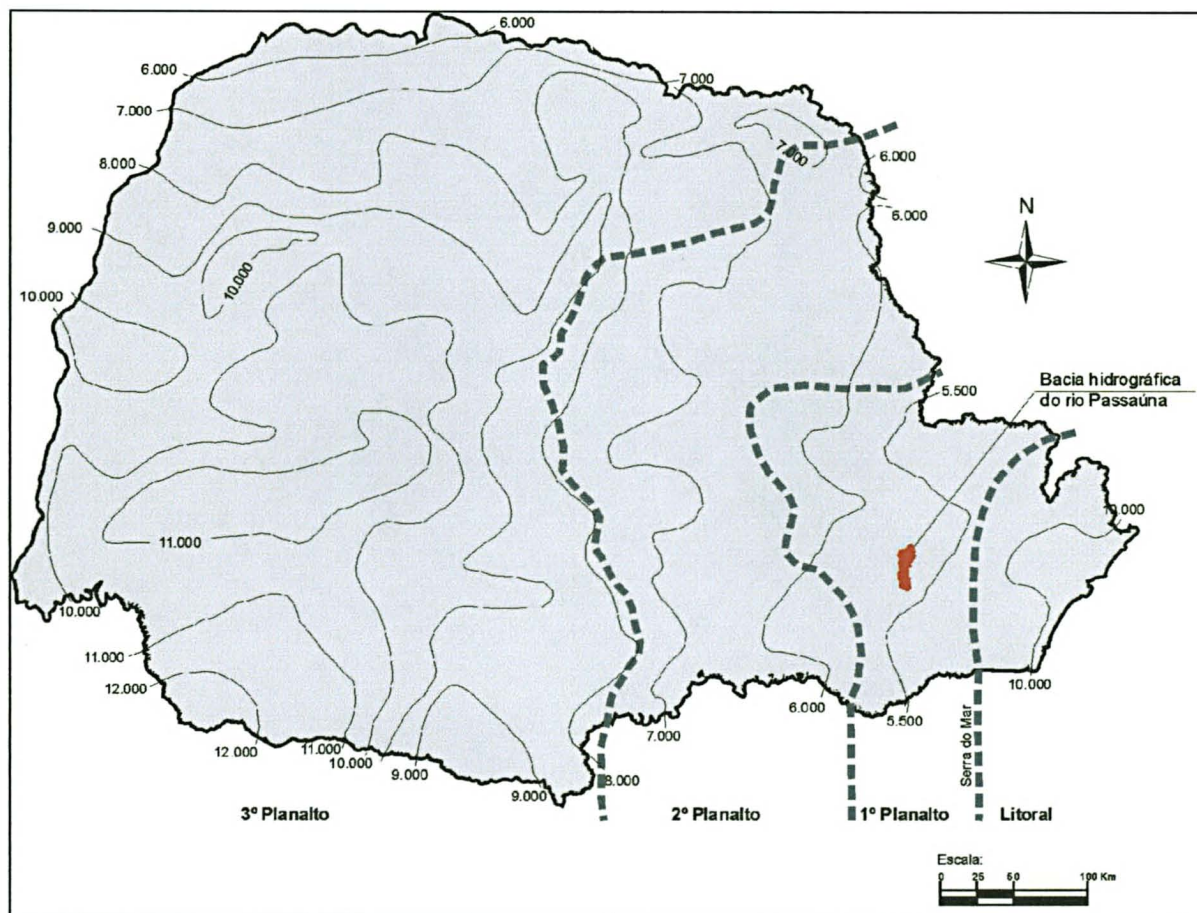


Figura 4.4 - Índice de erosão das chuvas, valores médios anuais, em  $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{ano}^{-1}$  do índice de erosão da chuva do estado do Paraná, 1972-89. 3ª aproximação.

Fonte: Rufino (1993).

As propriedades do solo que influenciam a erodibilidade são aquelas que: (a) afetam a velocidade de infiltração, permeabilidade e capacidade total de armazenamento de água; (b) resistem às forças de dispersão, salpico, abrasão e transporte originadas pela chuva (Wischmeier e Smith 1965). O fator erodibilidade do solo ( $K$ ) tem seu valor quantitativo determinado experimentalmente em parcelas unitárias ou por meio de monogramas que consideram características texturais e composicionais do solo. Uma parcela unitária possui 25 m de comprimento e uma declividade de 9%, em alqueive, preparada no sentido do declive. O declive de 9% e o comprimento de 25 m foram escolhidos arbitrariamente, como termo de comparação (Bertoni e Lombardi Neto 1985). Alqueive, neste caso, significa um terreno que foi preparado e deixado livre de vegetação por um mínimo de dois anos, ou até que os primeiros resíduos da cultura anterior estejam decompostos. Medidas experimentais do valor de  $K$ , conforme as normas estabelecidas no surgimento da Equação Universal de Perdas de Solo, são custosas e requerem muitos anos de determinações, além de ser difícil isolar os efeitos de solo de outros fatores. Tais motivos tornaram necessária a estimativa da erodibilidade do

solo por outros meios. Middleton (1930), Wischmeier et al. (1971), Wischmeier (1972), Lombardi Neto e Bertoni (1975), Bertoni et al. (1975), Biscaia (1977) e Biscaia et al. (1981), Alcântara et al. (1998), Bastos et al. (1998), Freire et al. (1998), Avena et al. (1998), estudaram e definiram valores do fator erodibilidade para alguns solos brasileiros.

A necessidade prática da determinação do fator K (Prof. G. Roloff, comunicação pessoal 2002) levou a definição de funções de pedotransferência que exigem dados analíticos, que consideram a similaridade de grandes grupos, e os fatores preponderantes são estrutura, textura e classe de solos. Para a região de Curitiba foram definidos os valores do fator K para 15 classes de solos (Prof. G. Roloff, comunicação pessoal 2002). Foram realizadas coletas das amostras de solos, análises granulométricas e a classificação do tipo de solo. Os valores do fator K foram definidos através de três equações:

Fator K para Latossolo

$$K_l = 0,0437 \text{ RAIZ} \left( \frac{\text{SIL}}{100} \left( \frac{\text{SIL} + \text{AFIN}}{100} \right) \right) + 0,035 \left( \frac{\text{OXF}}{100} \right) - 0,0111 \left( \frac{\text{OXA}}{\text{ARG}} \right)$$

Fator K para Podzólico

$$K_p = 0,0197 \text{ RAIZ} \left( \frac{\text{SIL}}{100} \left( \frac{\text{SIL} + \text{AFIN}}{100} \right) \right) - 0,0526 \left( \frac{\text{OXF}}{100} \right) + 0,0176 \left( \frac{\text{AFIN}}{100} \right)$$

Fator K para Cambissolo

$$K_c = 0,1038 \text{ RAIZ} \left( \frac{\text{SIL}}{100} \left( \frac{\text{SIL} + \text{AFIN}}{100} \right) \right) - 0,0454 \left( \frac{\text{OXA}}{100} \right). \text{ Sendo:}$$

SIL = teor em porcentagem de silte da amostra de solo analisada;

AFIN = teor em porcentagem de areia fina da amostra de solo analisada;

ARG = teor em porcentagem de argila da amostra de solo analisada;

OXA = óxido de alumínio extraível por ácido sulfúrico;

OXF = óxido de ferro extraível por ácido sulfúrico.

Os valores determinados pelas equações para cada classe de solo e a área correspondente a cada fator K na área da bacia hidrográfica estão apresentados no quadro 4.1.

Quadro 4.1 - Classificação do solo e fator K (prof. G. Roloff, comunicação pessoal 2002).

Classificação do solo (IAPAR 1981)		Fator K Roloff (2002)	% da área da bacia
LV a 12	Latossolo Vermelho – Amarelo álico + Cambissolo Álico Tb	0,024	5,00
HG2	Solos hidromórficos Gleyzados	0,030	13,69
PV a 21	Podzólico Vermelho – Amarelo álico Tb + Podzólico Vermelho – Amarelo álico	0,031	45,34
LV a 6	Latossolo Vermelho – Amarelo álico	0,010	6,04
LV a 13	Latossolo Vermelho – Amarelo álico + Cambissolo álico Tb	0,024	17,99
Ca 5	Cambissolo álico Tb	0,038	11,12
Ca 37	Cambissolo álico Tb + Solos litólicos distróficos	0,040	0,24
Led 3	Latossolo Vermelho – escuro distrófico A	0,009	0,58

Os valores atribuídos para o fator K não têm significado quantitativo, devendo ser entendido como um valor qualitativo que se utilizou exclusivamente para compor um quadro geral de erodibilidade da bacia hidrográfica.

#### 4.3.3.2.3 Fator topográfico - LS

O fator topográfico é constituído por duas variáveis do relevo que modificam a ação exercida pela água pluvial: o comprimento das encostas e o declive. Estas variáveis interferem na velocidade do escoamento superficial das águas pluviais. O comprimento da encosta é definido como a distância que vai do ponto de origem do escoamento até atingir um canal bem definido, integrante de uma rede de drenagem. Pesquisadas separadamente, são representadas na equação de perdas de solo por L e S, respectivamente. Para a aplicação prática da equação são consideradas conjuntamente como um fator topográfico (LS), Wischmeier e Smith (1965) e USDA (1961).

Experiências têm demonstrado que o aumento do comprimento das encostas age no sentido de acelerar a erosão dos solos. Na medida que são mais longas, aumenta o volume da água que escoia através de uma seção transversal da vertente, por conseguinte, a capacidade de remover e transportar detritos. De modo similar tem-se a relação da declividade com a potencialidade de promover erosão. Desse modo, os terrenos com maiores declividades e maiores comprimentos de rampa apresentam maiores volumes e velocidades de escoamento superficial e, conseqüentemente, maior capacidade erosiva. Há inúmeras possibilidades de interação entre os fatores topográficos, que levam as diferentes possibilidades erosivas, considerando-se os mesmos índices pluviométricos.

Tendo em vista que um valor constante da declividade de uma vertente tende a superestimar ou subestimar a erosão, Kok et al. (1995) tomaram um valor médio de declividade para o cálculo de fator LS da equação da USLE, dentro do projeto *CORINE Land Cover – Coordination of Information on the Environment*, na aplicação da equação na Espanha. Segundo os autores, os valores medidos foram calculados a partir de relações estabelecidas entre comprimento da vertente e gradiente, encontrados na literatura. O fator medido para diferentes classes de declividades esta representado na tabela 4.1, a seguir:

Tabela 4.1 – Fator LS em função de classe de declividade (Kok et al. 1995).

Classe de declividade	Fator LS
0 – 5	0,5
5 – 15	3,5
15 – 30	9,0
> 30	16,0

Para obtenção do fator LS para a bacia hidrográfica, primeiramente foi criado o modelo digital do terreno. A partir das curvas de nível, com intervalo de 5 metros na base cartográfica digital da SUDERSHA (2000) - escala 1 : 10.000, elaborou-se uma malha com células de 5 metros por 5 metros, onde cada célula possui informação de elevação. O mapa de declividades é resultado da

elevação de cada célula vizinha, medida em porcentagem de declividade, utilizando a ferramenta Modelbuilder do aplicativo *Spatial Analyst* do Software ArcView. Através da reclassificação, foi gerado um mapa poligonal de declividades. Adotadas as classes sugeridas na tabela 4.1, atribuiu-se para cada polígono o fator LS correspondente para a área da bacia hidrográfica.

#### 4.3.3.2.4 Fator uso, manejo do solo e prática conservacionista - CP

O Fator C – Uso e manejo do solo, conforme Wischmeier e Smith (1965) é o quociente entre a erosão medida sobre a parcela padrão, utilizada para a determinação de K, ou seja: a parcela mantida em pousio, sem cobertura vegetal, com aração morro abaixo e a parcela semelhante, porém cultivada. É pois, outro fator determinado experimentalmente. Segundo Bertoni et al. (1975) existem cinco períodos de culturas utilizadas para o cálculo de C, baseados na uniformidade relativa do efeito da cobertura vegetal e dos resíduos dentro de cada período a destacar: preparo do solo; plantio (semeadura); estabelecimento, fixação do plantio; crescimento e maturação, período vegetativo; resíduo, desde a colheita até a aração para o novo plantio.

O Fator P - práticas conservacionistas ou índice de conservação do solo e da água é um fator dificilmente separável do fator C. O fator P é a relação das perdas de terra ou de água, em um terreno cultivado, segundo as normas conservacionistas e de um outro terreno análogo, plantado e cultivado morro abaixo, que pode ser uma parcela padrão. Conforme Bertoni et al. (1975), as práticas de conservação mais comuns são: plantio em faixas de contorno, terraceamento e alternância de capinas, existindo, porém, outras práticas, como: plantio direto, aração mínima do solo, faixas de vegetação permanente, cobertura morta, sulcos e camalhões em contorno, entre outros.

Os fatores C e P são tratados individualmente quando se buscam formas mais adequadas de produção agrícola em harmonia com o meio físico a ser explorado. Segundo Stein et al. (1987), entretanto, quando é enfocada a perda de solos por erosão, essas variáveis estão de tal forma interrelacionadas que não se pode analisá-las individualmente. Dessa forma, os autores acima referidos trataram os fatores C e P em conjunto, elaborando uma tabela com diferentes valores de CP. A ocupação das terras é representada por 22 categorias, em função do porte de vegetação e do tipo de ocupação, que são reunidas em conjuntos abrangentes. Estes, por sua vez, foram subdivididos em razão da total ou parcial cobertura do terreno pela vegetação, resultando em 7 grupos maiores. Ou seja, são considerados concomitantemente dois níveis de generalização, um em função do porte da cobertura e outro da porcentagem de cobertura do terreno representado pelo quadro 4.2 (Stein et al. 1987).

Quadro 4.2 - Categorias de ocupação e valores correspondentes de CP estabelecidos por Stein et al. (1987).

Grupo	Categoria	CP
1. Vegetação de porte alto à médio, cobertura total do terreno		0,00004
	1a. Floresta ombrófila	0,00004
	1b. Vegetação secundária	0,00004
	1c. Cerrado	0,00004
	1d. Reflorestamento	0,00010
2. Vegetação de porte médio a baixo, cobertura total do terreno		0,01035
	2a. Cobertura residual	0,00070
	2b. Cerrado	0,00070
	2c. Cultura permanente	0,02000
	2d. Cana-de-açúcar	0,05000
3. Vegetação de porte médio a baixo, cobertura parcial do terreno		0,25000
	3a. Cobertura residual	0,25000
	3b. Cobertura perene	0,25000
4. Vegetação do porte baixo a rasteiro, cobertura total do Terreno		0,01000
	4a. Cobertura residual	0,01000
	4b. Pastagem	0,01000
	4c. Cultura temporária	0,20000
	4d. Campo cerrado	0,01000
	4e. Campo natural	0,01000
5. Vegetação de porte baixo rasteiro, cobertura parcial do terreno		0,10000
	5a. Cobertura residual	0,10000
	5b. Pastagem	0,10000
	5c. Cultura temporária	0,20000
6. Ocupações naturais diversas		
	6a. Várzea	(1)
	6b. Espelho d'água	(1)
7. Ocupações antrópicas diversas		
	7a. Área urbanizada	(1)
	7b. Estrada	(1)

(1) Não se aplica a USLE para este tipo de ocupação.

Os dados do quadro 4.2 foram atribuídos ao mapa elaborado a partir da digitalização em Autocad do mapa analógico sobre uso e ocupação do solo produzido pela COBRAPE (2000). O arquivo digital foi transferido para o aplicativo *Spatial Analyst* do Software ArcView, onde foram atribuídas e classificadas as informações de categoria de uso do solo e CP, gerando o quadro 4.3 para o ano 2000.

Quadro 4.3 – Categorias de ocupação e valores de CP aplicados para cobertura do solo ano 2000 para a bacia hidrográfica.

Grupo	Categoria	CP
1. Vegetação de porte alto à médio, cobertura total do Terreno.		
	1a. Floresta ombrófila (aluvial)	0,00004
	1b. Floresta secundária (Capoeirão)	0,00004
	1d. Reflorestamento	0,00010
2. Vegetação de porte médio à baixo, cobertura total do Terreno.		
	2a. Cobertura residual (Capoeira)	0,00070
3. Vegetação de porte médio à baixo, cobertura parcial do terreno		
	3a. Cobertura residual (Capoeirinha).	0,25000
4. Vegetação de porte baixo a rasteiro, cobertura total do terreno		
	4b. Pastagens	0,01000
	4c. Cultura temporária (Agricultura)	0,20000
	4e. Campo natural (estepe gramíneo linhoso)	0,01000
6. Ocupações naturais diversas		
	6b. Espelho d'água (Rio, lago)	(1)
7. Ocupações antrópicas diversas		
	7a. área urbanizada	(1)

(1) Não se aplica a USLE para este tipo de ocupação.

O mapa de uso do solo de 1991 foi elaborado a partir da digitalização em Autocad de mapa produzido nos estudos para o zoneamento ecológico-econômico da APA do Passaúna em 1992 (COMEC 1995). O arquivo digital foi transferido para o aplicativo *Spatial Analyst* do software ArcView, onde foram atribuídas e classificadas as informações de categoria de uso do solo e CP, gerando o quadro 4.4. O uso, manejo e práticas conservacionistas constituem-se nos fatores de influência antrópica que são contemplados pela USLE e também no único fator variante utilizado na avaliação do potencial erosivo da bacia hidrográfica.

Os valores de CP foram atribuídos primeiramente ao mapa de uso do solo de 2000, posteriormente, para o mapa de uso do solo do ano de 1991, que possibilitou a comparação das alterações ocorridas neste período quanto ao uso e ocupação do solo.



Quadro 4.4 – Categorias de ocupação e valores de CP aplicados para cobertura do solo ano 1991 para a bacia hidrográfica.

Grupo	Categoria	CP
1. Vegetação de porte alto à médio, cobertura total do Terreno.		
	1a. Floresta ombrófila (Aluvial)	0,00004
	1b. Floresta secundária (Capoeirão)	0,00004
	1d. Reflorestamento	0,00010
2. Vegetação de porte médio à baixo, cobertura total do terreno.		
	2a. Cobertura residual (Capoeira)	0,00070
	2c. Cultura Permanente	0,02000
3. Vegetação de porte médio à baixo, cobertura parcial do terreno		
	3a. Cobertura residual (Capoeirinha)	0,25000
4. Vegetação de porte baixo a rasteiro, cobertura total do terreno		
	4b. Pastagem	0,01000
	4c. Cultura temporária (Agricultura)	0,20000
	4e. Campo natural (estepe graminio linhoso)	0,01000
6. Ocupações naturais diversas		
	6a. Várzea	(1)
	6b. Espelho d'água (Rio, lago)	(1)
7. Ocupações antrópicas diversas		
	7a. área urbanizada (Pedreira, Extrato areia)	(1)
	7b. Estrada	(1)

(1) Não se aplica a USLE para este tipo de ocupação.

#### 4.3.3.2.5 Perda média anual de solo para a bacia hidrográfica

Através da aplicação da Equação Universal de Perdas do Solo obtém-se a perda média anual de solo para a bacia hidrográfica. Para calcular o valor da perda média anual de solo da bacia hidrográfica por unidade de área por ano ( $A = R, K, LS$  e  $CP$ ) expressa em peso/ unidade de área/ período de tempo. O cálculo foi realizado pela sobreposição dos mapas gerados, através do aplicativo *Spatial Analyst* do software ArcView, onde foram processados dados das tabelas de polígonos. Os valores foram calculados primeiramente para o mapa do ano de 2000, posteriormente, para o mapa do ano de 1991, que possibilitou a comparação das alterações ocorridas neste período, utilizando a seguinte expressão:

Cálculo Valor  $A = \text{Fator } R \cdot \text{Fator } K \cdot \text{Fator } LS \cdot \text{Fator } CP$

O valor de  $A$  é dado em tonelada / hectare/ ano.

#### 4.3.4 Análise granulométrica dos materiais inorgânicos e análise do teor de matéria orgânica das amostras de fundo do reservatório

##### 4.3.4.1 Coleta das amostras de sedimentos da superfície de fundo com amostrador tipo *box corer*

Sugio (1973) afirmou que para a investigação da camada mais recente (superficial) de sedimentos dos fundos de lagos, mares ou leitos de rios é suficiente amostrar alguns centímetros

superficiais com pegadores (amostradores).

Para este estudo foram coletadas 44 amostras com amostrador de caixa metálica, denominado *Box Corer*, Van Veen ou de mandíbula. Destina-se a recolher amostras de sedimentos da superfície de fundo de corpos d'água. É constituído de duas caçambas de seção quadrada, com cerca de 20 cm de lado, providas de um movimento mandibular que é articulado por um eixo horizontal situado em sua parte superior (Fig. 4.5). No momento em que o amostrador toca o fundo destravam-se as caçambas que “raspam” a superfície do depósito sedimentar à medida que o amostrador vai sendo içado. Com a progressiva ascensão do amostrador, as caçambas terminam por fechar-se completamente, retendo a amostra em seu interior. Dependendo da consistência do material sedimentar, pode haver variação na espessura de sedimentos amostrados em cada operação. No geral, cerca de três a cinco centímetros (Ponçano 1981), foram amostrados por operação e a quantidade de material úmido recolhido situou-se em torno de dois quilos. A amostragem contou com o apoio logístico de mergulhadores do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Paraná, no lançamento e recolhimento do amostrador, acondicionamento das amostras, e liberação do equipamento nas ocasiões em que o mesmo ficou preso a galhos e restos vegetais.

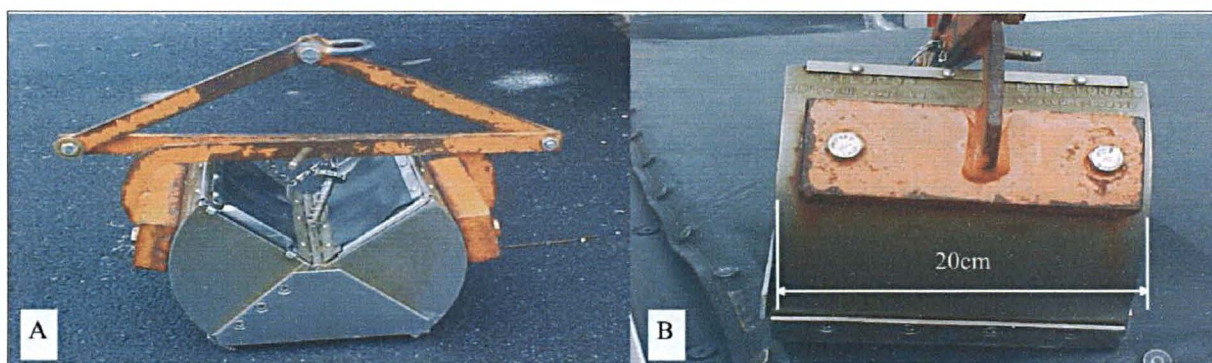


Figura 4.5 - amostrador em caixa, *Box Corer*. A) aberto preparado para a coleta; B) fechado após coleta do material.

As estações de amostragem foram definidas após análise das imagens da sonografia (Fig. 4.2). Foram escolhidos pontos situados ao longo do reservatório próximos a foz de tributários, sobre antigas estradas submersas, de antigas áreas de empréstimo da fase de obra da barragem, próximos a taludes expostos e com escorregamento das margens. A localização dos pontos amostrados foram georreferenciados, com uso de GPS, depois lançados em base cartográfica digital.

As amostras coletadas foram acondicionadas em sacos plásticos devidamente identificadas. As amostras foram mantidas congeladas, para preservar as condições naturais da matéria orgânica, até a realização dos ensaios.

#### 4.3.4.2 Ensaios

As amostras coletadas são altamente heterogêneas do ponto de vista textural, com composição variando entre as classes argila e grânulo. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Estudos Sedimentológicos do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Paraná -

LabESed. As amostras foram descongeladas, pesadas em torno de 300 g de cada amostra e colocadas em bequeres de 2000 ml, juntamente com peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$  - 50 volumes) para a obtenção do teor de matéria orgânica (Fig. 4.6A). O processo pôde ser acelerado com uso de placa aquecedora. Após eliminação da matéria orgânica, os bequeres foram colocados na estufa (a 50 °C) para secagem (Fig. 4.6B), posterior pesagem, e obtenção do percentual de matéria orgânica (pela diferença entre o peso inicial e final da amostra).



Figura 4.6 - Etapas da quantificação do teor de matéria orgânica das amostras: A) queima da matéria orgânica com peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$  - 50 volumes) ; B) secagem das amostras em estufa após oxidação da matéria orgânica.

Depois, as amostras foram encaminhadas para análise granulométrica por pipetagem seguida de peneiramento realizada segundo método apresentado por Coimbra et al. (1999). A pipetagem foi utilizada para dimensionamento de partículas entre 0,062 e 0,004 mm de diâmetro e o peneiramento para partículas entre 4,0 e 0,062 mm.



### Método da Pipetagem

Este método é baseado nas mudanças de concentração de partículas em uma suspensão originalmente uniforme, pela tomada de várias alíquotas com pipetas volumétricas (de 20 ml), em intervalos de tempos definidos, em profundidades que correspondem à deposição do material neste intervalo de tempo. As quantidades de materiais em cada uma das classes granulométricas foram obtidas a partir das mudanças na concentração de material em suspensão. A determinação foi feita pela pesagem do resíduo seco da pipetagem. Os ensaios foram realizados conforme Coimbra et al. (1999), utilizando-se os dados de tempos e profundidades calculados para deposição de partículas por valores limites de classes granulométricas (Tab. 4.2). A velocidade de decantação das partículas foi calculada com base na lei de Stokes (1851).

Tabela 4.2 - Faixas granulométricas, profundidades de coleta e tempos para análise granulométrica por pipetagem.

Diâmetro (mm)	Profundidade (cm)	Tempo
0,062-0,031	20	58"
0,031-0,016	20	3'52"
0,016-0,008	10	7'44"
0,008-0,004	10	31'
< 0,004	10	2h03'

Fonte – LabESed (2002).

### Método do Peneiramento

Nas análises granulométricas o diâmetro limite 1/16mm (0,062 mm) foi adotado para distinguir sedimentos mais grossos (psamíticos) e finos (pelíticos). Na execução do peneiramento dispôs-se de peneiras de oito polegadas de diâmetro de armação, com uma polegada de altura, possuindo telas com malhas padronizadas, seguindo a escala granulométrica de Wentworth (1922). No peneiramento foram intercaladas peneiras de 4,000; 2,830; 2,000; 1,410; 1,000; 0,707; 0,500; 0,354; 0,250; 0,177; 0,125; 0,088 e 0,062 mm. Os grãos que passaram através da peneira (grãos menores que a malha) são os chamados “finos” ou “fração que passou”, aqueles que permaneceram (grãos maiores que a malha) são chamados de “fração mais grossa” ou “fração residual”.

#### 4.3.4.3 Cálculo dos parâmetros estatísticos das distribuições granulométricas

No estudo estatístico do material inconsolidado, a escala em valores da série geométrica apresenta certas dificuldades. Para facilitar a análise estatística, Krumbein (1934) propôs a escala phi ( $\Phi$ ), a qual corresponde a transformação logarítmica dos valores da escala de Wentworth (1922). A escala phi ( $\Phi$ ) representa o logaritmo negativo de base 2 do tamanho do grão em milímetro:  $\Phi = -\log_2 d$ ;  $d$  = diâmetro do grão em mm. Nesta escala, a granulação 1 mm possui um valor  $\Phi = 0$ , classes granulométricas finas tem valores  $\Phi$  positivos. Esses valores  $\Phi$  que são números inteiros, coincidem com os limites de classes da escala de Wentworth (1922) (Anexo 4.1).

No tratamento dos dados de laboratório foram usadas as fórmulas propostas por Folk e Ward (1957), através do programa Sysgran 2.4 (Camargo 1999). Os dados foram armazenados em um banco de dados na forma de planilha numérica, com o número da amostra e posicionamento em coordenadas georreferenciadas. Os parâmetros estatísticos das distribuições granulométricas foram então calculados conforme fórmulas de Folk e Ward (1957). A compilação dos dados em arquivos digitais (Apêndice 4.1) teve por objetivo permitir a leitura por diversos softwares utilizados, principalmente o Sysgran 2.4 (Camargo 1999), Surfer 7 for windows e Autocad.

Os resultados analíticos obtidos da realização das análises mecânicas e tratamento estatístico através do software Sysgran 2.4 (Camargo 1999) foram apresentados graficamente com curvas de frequência acumulada e diagramas triangulares (Shepard 1954). Os resultados apresentados em mapas gerados com uso do software Surfer 7 for windows foram sobrepostos graficamente a base cartográfica, digitalizada com uso do software Autocad.

#### a) Curvas de frequência acumulada

As curvas acumulativas de frequência de classes granulométricas facilitam visualizar a distribuição granulométrica dos sedimentos. As curvas acumulativas foram construídas lançando-se nas ordenadas os valores que representam a quantidade total de material maior ou menor que um determinado diâmetro. Assim, são representadas em porcentagem de material retido (maior que aquele diâmetro) ou em porcentagens de material que passa (menor que aquele diâmetro). O tipo mais usado em sedimentologia é aquele que representa os valores de diâmetros maiores que aqueles usados para representação. Em outras palavras, pela porcentagem em peso do material retido. Para isso os valores menores dos intervalos granulométricos são escolhidos para se lançar a frequência de cada classe. As curvas acumulativas foram construídas escolhendo-se a escala de classes granulométricas ao longo do eixo das abcissas de Wentworth (1922), e uma escala de frequência de 0 a 100 % ao longo do eixo vertical das ordenadas. Foram construídas com resultados de análises granulométricas, de tal modo que, começando dos grãos mais grossos, as proporções em peso (%) da classe granulométrica fina seguinte foram adicionadas à soma das frequências de partículas mais grossas anteriores. Os Valores percentuais das somas parciais foram lançados sobre o diagrama frequência granulométrica (%) x tamanho dos grãos ( $\phi$ ).

#### b) Diagrama triangular

Para uma distribuição expressa em quantidades de três componentes, os sedimentos podem ser representados por um ponto no diagrama triangular (Shepard 1954). Isto é comumente feito com solos, onde as porcentagens de areia, silte e argila fornecem um único ponto sobre o diagrama.

### 4.3.4.4 Análise estatística dos resultados de análises granulométricas

#### a) Medidas de Tendência Central

Esses valores caracterizam a classe granulométrica mais freqüente. Entre as medidas de

tendência central foram determinados os diâmetros medianos ( $Md \phi$ ), as modas e os diâmetros médios aritméticos ( $M_z$ ). O diâmetro mediano é o valor da granulação no ponto correspondente a 50% da distribuição sobre os gráficos de frequências acumuladas, e define a granulometria que separa a amostra analisada em duas metades iguais em peso. A moda representa a classe mais freqüente.

O diâmetro médio aritmético foi obtido mediante a fórmula sugerida por Folk e Ward (1957):  $M_z = (\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}) / 3$ , utilizando-se os percentis  $\phi_{16}$ ,  $\phi_{50}$  e  $\phi_{84}$  lidos diretamente da curva. O percentil  $\phi_{16}$  fornece uma média para o terço (1/3) mais grosso da amostra,  $\phi_{84}$  para o terço mais fino e  $\phi_{50}$  fornece uma média do terço intermediário. Relativamente à  $M_z$  o  $Md \phi$  possui a vantagem de ser menos afetado pelos valores extremos da distribuição e pela assimetria. É o valor mais próximo do diâmetro modal, o qual melhor define o tamanho do grão mais abundante. Folk e Ward (1957) sugerem que o diâmetro médio seja uma medida melhor que a mediana, para expressar a granulometria do sedimento e, normalmente, a mediana não deve ser usada já que possui eficiência muito pequena em certos casos de distribuição.

Embora o diâmetro médio aritmético apresente muitas vantagens, ele possui alguns inconvenientes, como a sua sensibilidade aos valores extremamente grandes ou pequenos. Em distribuições muito assimétricas, a média aritmética parece não ser muito representativa, preferindo-se então o diâmetro mediano.

Do ponto de vista sedimentológico, a granulação média de um sedimento indica a ordem de magnitude dos tamanhos das partículas. É usada na comparação das amostras coletadas segundo o sentido de transporte dos sedimentos ao longo do rio.

#### b) Medidas de Dispersão

Embora existam várias medidas de dispersão, foi adotado o desvio padrão gráfico inclusivo por ser o mais apropriado para os estudos de sedimentos bimodais ou polimodais, segundo (Folk e Ward 1957). Esta medida é uma expressão do grau de seleção de um sedimento. O desvio padrão gráfico inclusivo empregado neste estudo, foi obtido da curva de frequência acumulada através do processo gráfico, utilizando-se os percentis  $\phi_{84}$ ,  $\phi_{16}$ ,  $\phi_{95}$  e  $\phi_5$ , dando, portanto, uma melhor cobertura às extremidades das curvas. É expresso pela seguinte fórmula:  $\sigma_1 = (\phi_{84} - \phi_{16}) / 4 + (\phi_{95} - \phi_5) / 6,6$ . Esta medida, em sedimentologia, representa a capacidade dos diferentes processos geológicos em selecionar com maior ou menor competência um determinado sedimento.

Folk e Ward (1957) sugeriram uma escala de faixas de valores, correspondentes a nomes (escala verbal) para descrição de grau de seleção de sedimentos, que apresenta os seguintes limites:

$\sigma_1$ menor que 0,35	= muito bem selecionado;
0,35 a 0,50	= bem selecionado;
0,50 a 1,00	= moderadamente selecionado;
1,00 a 2,00	= pobremente selecionado;



2,00 a 4,00 = muito pobremente selecionado;

$\sigma_1$  maior que 4,00 = extremamente mal selecionado.

### c) Assimetria

O grau de assimetria é o grau de desvio ou afastamento da simetria em uma distribuição de frequências. É indicado pelo afastamento do diâmetro médio em relação à mediana. Em uma distribuição simétrica o diâmetro médio e a mediana coincidem. Portanto, neste caso não existe assimetria. Se a curva de uma distribuição tem uma cauda mais longa à direita da ordenada máxima, diz-se que a distribuição é desviada para a direita ou que tem assimetria positiva. No caso inverso, diz-se que ela é desviada para a esquerda ou tem assimetria negativa.

Folk e Ward (1957) propuseram a seguinte fórmula para determinar a assimetria (denominada assimetria gráfica inclusiva):  $SK_1 = (\phi_{16} + \phi_{84} - 2 \phi_{50}) / (2 (\phi_{84} - \phi_{16}) + (\phi_5 + \phi_{95} - 2 \phi_{50}) / (2 (\phi_{95} - \phi_5))$ . E sugerem uma escala de faixas de valores, correspondentes a nomes (escala verbal), para descrição do grau de assimetria dos sedimentos:

$SK_1$  entre -1,00 e -0,30 = assimetria muito negativa;

-0,30 e -0,10 = assimetria negativa;

-0,10 e +0,10 = aproximadamente simétrica;

+0,10 e +0,30 = assimetria positiva

+0,30 e +1,00 = assimetria muito positiva.

Para assimetria negativa, a média é menor que a mediana e a distribuição desviada para os valores  $\phi$  menores ou para as partículas mais grossas. Por outro lado, para assimetria positiva a distribuição é desviada para o lado dos valores  $\phi$  maiores ou para as partículas mais finas.

### d) Curtose

A curtose exprime o grau de agudez dos picos nas curvas de distribuição de frequência. Corresponde à razão entre as dispersões (espalhamento) na parte central e nas caudas das curvas de distribuição. Para a determinação da curtose foi adotada a fórmula proposta por Folk e Ward (1957), denominada curtose gráfica:  $K_G = (\phi_{95} - \phi_5) / (2,44 (\phi_{75} - \phi_{25}))$ .

As curvas normais tem  $K_G = 1,00$ , porque a dispersão  $\phi_5 - \phi_{95}$  é exatamente 2,44 vezes a dispersão  $\phi_{25} - \phi_{75}$ , a forma do pico não é nem pontiaguda nem muito achatada, são denominadas de mesocúrticas. Distribuições muito platicúrticas (por exemplo, distribuições bimodais com duas modas iguais e amplamente separadas: distribuições tipo “sela de cavalo”) podem ter  $K_G$  menor do que 0,6, são curvas que tem o topo achatado e base ampla. Curvas com distribuições muito leptocúrticas,  $K_G$  apresentam valores em 1,5 a 3,0, apresentam distribuição com pico relativamente alto, representam um sedimento bem selecionado na parte central da distribuição. Para classificar uma curva, segundo os valores de curtose (escala verbal), foram utilizados os seguintes limites:

$K_G$  menor que 0,67 = muito platicúrtica;

0,67 a 0,90	= platicúrtica;
0,90 a 1,11	= mesocúrtica;
1,11 a 1,50	= leptocúrtica;
1,50 a 3,00	= muito leptocúrtica;
$K_G$ maior que 3,00 = extremamente leptocúrtica.	

A curtose, sob o ponto de vista interpretativo, significa um valor quantitativo que informa a relação entre o grau de seleção da parte central de uma curva e as partes terminais. Este parâmetro também mede a normalidade da distribuição granulométrica, mas o seu sentido geológico é pouco compreendido.

#### 4.3.5 Caracterização dos Sedimentos de fundo com testemunhos verticais

Em lagos e reservatórios de águas rasas, calmas e de boa transparência a coleta de testemunhos de fundo do reservatório pode ser executada por mergulhadores ou pelo lançamento de testemunhadores a partir do barco. Os testemunhadores destinam-se a recolher testemunhos verticais. Podem penetrar até alguns metros nos sedimentos, dependendo do seu peso, velocidade de queda, diâmetro do tubo e propriedades dos sedimentos do fundo. Este tipo de testemunhador é denominado de gravidade (Suguio 1973).

##### 4.3.5.1 Coleta de material sedimentar de fundo com testemunhador vertical

O testemunhador utilizado na amostragem deste estudo é constituído, na parte superior do corpo principal por quatro aletas que facilitam o direcionamento do amostrador numa posição vertical quando da sua queda. Tem orifícios nesta parte superior para a fixação do cabo de aço no testemunhador, e tampa na parte superior, para evitar a entrada de água no momento da subida do testemunhador até o barco (Fig. 4.7). Na parte central das aletas é fixado o tubo em PVC com 90 cm de comprimento e diâmetro de 2" (54,6 mm), onde foi recolhida a amostra. Na parte anterior do tubo em PVC foi rosqueada uma ponteira em aço para facilitar a penetração no fundo. Após fixação do tubo coletor na parte central, foi feito o lançamento em queda livre deste equipamento do barco até o fundo do reservatório, na posição vertical, e suportado por cabo de aço. Após coleta do testemunho, o equipamento foi desencravado com cuidado, içado, tampada a parte inferior do tubo com tampão e saco plástico, para depois ser completamente recolhido. Em seguida, o tubo foi liberado da área central das aletas com a liberação do peso do cabo de aço e foi tampada a parte superior com saco plástico. A seguir a amostra foi devidamente identificada. Durante a coleta do material inconsolidado de fundo o tubo testemunhador foi mantido na posição vertical. Através desse processo, foram obtidos testemunhos pouco deformados.

A coleta foi realizada com o apoio de mergulhadores do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado do Paraná. Algumas amostras foram coletadas com a cravação direta do tubo pelo mergulhador no fundo do reservatório (dentro d'água), quando ocorreu a existência de restos vegetais

que prejudicaram a coleta por queda livre. As amostras do material inconsolidado do fundo através de testemunhos verticais foram retiradas de locais escolhidos com base nas imagens da sonografia e posição relativa ao antigo leito do canal principal do rio, situados ao longo do reservatório próximos a tributários e desembocaduras, antigas estradas submersas, próximos a taludes expostos e antigas áreas de empréstimo da fase de obra da barragem. A localização destes locais de coleta esta apresentada na figura 4.2, através de coordenadas georreferenciadas.



Figura 4.7 - Testemunhador utilizado na coleta de sedimentos de fundo. É composto por ponteira de aço, corpo em PVC (amostrador), e parte traseira metálica com haletas, em ferro fundido.

Os 18 testemunhos coletados foram mantidos congelados, para evitar deformações dos estratos e estruturas sedimentares. Para a descrição das amostras dos depósitos de fundo do reservatório os tubos em PVC foram cortados no sentido longitudinal, procedendo-se a dois cortes laterais, de forma a retirar parte do tubo. Na operação de corte dos tubos em PVC, o avanço da serra foi regulado para cortar apenas a espessura do tubo, deixando exposta parte do testemunho coletado.

Para a realização das análises, inicialmente o testemunho foi ajustado a uma escala métrica, utilizada como referência para descrever os detalhes e observações sobre a granulometria, textura, composição, estruturas sedimentares e cor do material.

#### 4.3.5.2 Análise de material sedimentar inconsolidado de testemunhos verticais

Para a análise das amostras se buscou informações sobre a composição dos sedimentos. A composição das rochas sedimentares pode ser expressa em termos mineralógicos, juntamente com as características texturais e estruturais. Definem as propriedades dos agregados de minerais. Segundo Krumbein e Sloss (1963 in Suguio 1973) os minerais mais comuns que compõem as rochas sedimentares, são: quartzo, minerais de argila, micas finas, calcita, dolomita, minerais detríticos (sílex detrítico, micas grossas, feldspatos), minerais autógenos (sílex, quartzo secundário, gipso), zircão, turmalina, epídoto, granada, hornblenda, anatásio, feldspato, mica e autógenos. Em qualquer sedimento, a composição da fração detrítica depende da espécie da rocha matriz, do grau de intemperismo da rocha matriz, da distância e processo de transporte. Os sedimentos formados a partir

de rochas ígneas expostas ou de terrenos metamórficos, tendem a apresentar grãos minerais angulosos ou subangulosos, com algumas clivagens e faces cristalinas preservadas. Sedimentos resultantes do retrabalhamento de rochas sedimentares anteriores tendem a apresentar grãos mais arredondados, inclusive com minerais pesados bem arredondados. São compostos geralmente de quartzo, com minerais pesados mais estáveis, tais como turmalina e zircão. Tais feições indicam retrabalhamento e eliminação de componentes menos estáveis.

Como as rochas sedimentares são produtos de vários processos, suas cores são de origens variadas e complexas. Conforme o caso, as cores são determinadas por minerais detríticos, minerais diagenéticos ou ainda por minerais de origem posterior (alteração). Na definição de cores hereditárias entram tanto o modo de destruição das rochas matrizes como condições climáticas e de transporte (agente, distância, duração). Segundo Suguio (1973), pode-se resumir o significado geológico das diferentes cores, nos sedimentos, do seguinte modo:

- a) Sedimentos de cores similares às da rocha matriz geralmente sugerem condições climáticas muito frias ou muito áridas ou alto gradiente geomorfológico, entre a fonte e o sítio de deposição;
- b) A cor negra nos sedimentos é indicativa de condições que favorecem a preservação da matéria orgânica (lagoas com má circulação de água, entre outros);
- c) Os sedimentos cinzentos não são indicativos de ambiente específico, podendo ser depositados em lagos, planícies de inundação fluvial e deltas;
- d) Cores, que mudam alternadamente com as camadas, são sugestivas de depósitos de leques aluviais, planícies de inundação e deltas;
- e) A cor verde, como cor primária, pode indicar sedimentos contendo argilo-minerais.

Os objetivos do exame do material sedimentar inconsolidado do fundo, consistem:

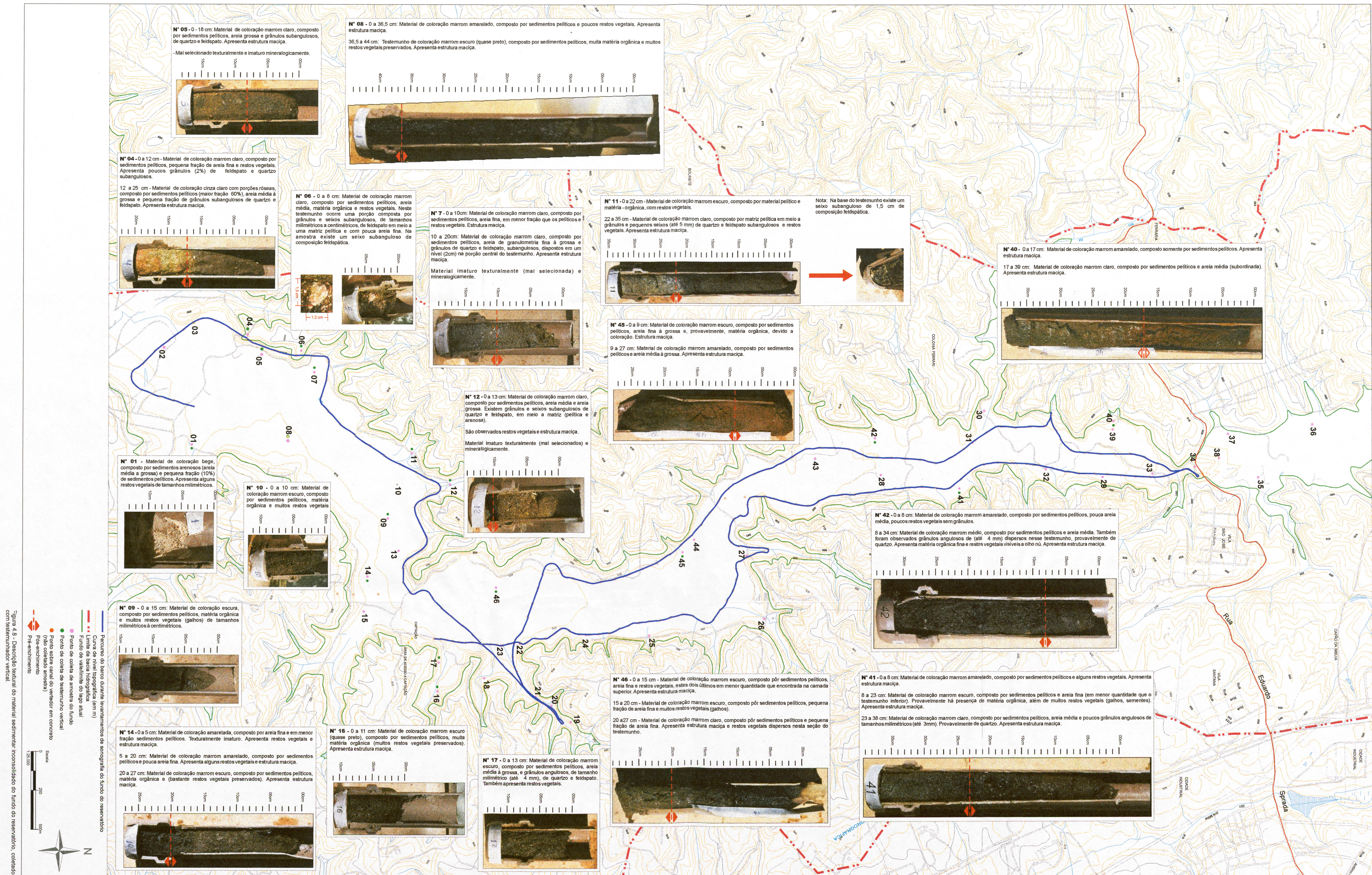
- a) Em sua caracterização textural e mineralógica;
- b) No estudo das variações apresentadas em função dos agentes geológicos;
- c) Na pesquisa de detalhes específicos, qualitativos, que expressam modificações dos caracteres físicos.

Os perfis e a descrição dos 18 testemunhos verticais estão apresentados na figura 4.8. No capítulo 5 – Resultados, é feita a correlação da análise textural dos testemunhos verticais com o ambiente de deposição no fundo do reservatório, assim como sobre as áreas-fonte contribuintes para a produção sedimentar na bacia hidrográfica do reservatório Passaúna.

#### 4.3.6 Fontes potenciais contribuintes para a produção sedimentar na bacia hidrográfica do reservatório Passaúna

As áreas-fonte de sedimentos no processo de assoreamento de reservatórios têm sido referidas em estudos sobre aporte sedimentar nas bacias hidrográficas (Ponçano 1981).







O volume de sedimentos removidos pelo processo erosivo depende da extensão e inclinação das encostas, tipo de solos, cobertura vegetal existente, ocupação com loteamentos ou outras obras civis que exponham a superfície na forma de cortes, aterros ou mesmo bota-foras. Constituem-se em fontes localizadas de sedimentos, cujo aporte pode ser significativo já que, mesmo que a fonte se situe distante da barragem, todo o sedimento que atinge determinado curso d'água tende a chegar ao reservatório.

Para este estudo, o levantamento das fontes contribuintes baseou-se no conhecimento prévio da área da bacia hidrográfica, obtido através dos relatórios desenvolvidos pela COMEC (1995) que elaborou o Zoneamento de Uso e Ocupação do Solo na Bacia Hidrográfica do Rio Passaúna e pela COBRAPE (2000) que elaborou o Relatório Parcial dos Estudos da Atualização do Zoneamento Ecológico - Econômico da área de Proteção Ambiental do Passaúna. No trabalho realizado pela COBRAPE (2000) encontraram-se informações levantadas em campo, no ano de 2000, que foram comparadas a informações anteriores, de janeiro de 1991 (COMEC 1995). Através de roteiros de campo, com levantamentos formulados de forma a indicar os diferentes tipos de usos predominantes na área a montante da barragem no rio Passaúna.

A classificação das áreas-fonte contribuintes para a produção sedimentar é qualitativa, baseada nas classes de potencialidade estabelecidas a partir de intervalos de valores e mapas temáticos gerados com aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo – USLE e nas evidências de campo de feições erosivas, mas sem medições ou cálculos de erosão.

#### 4.3.6.1 Leitura do Espaço na área da bacia hidrográfica

Para avaliação das áreas-fonte de contribuição atual, foram realizadas visitas a campo e registro fotográfico dos loteamentos e ocupações irregulares, de taludes expostos na área da bacia com retirada de material, de áreas com ocorrência de processo erosivo entre outros (Fotos 4.1 a 4.5).



Foto 4.1 – Observam-se aspectos panorâmicos de ocupação urbana, pastagens, lavouras, áreas de matas secundárias, capoeirões e capoeiras. As formas de relevo são o ondulado e forte ondulado. Loteamento Jardim Dona Fina no município de Campo Largo, ao fundo área entre o loteamento e a BR 277.





Foto 4.2 – Observam-se aspectos panorâmicos de ocupação urbana, lavouras, áreas de matas secundárias, capoeirões e capoeiras. As formas de relevo são o ondulado e forte ondulado. Loteamento Jardim Santa Angela no município de Campo Largo, ao fundo área entre o loteamento e o município de Araucária.



Foto 4.3 – Observam-se aspectos panorâmicos de ocupação urbana, pastagens, áreas de matas com capoeirão, capoeiras e capoeirinhas. As formas de relevo são o ondulado e suave ondulado. Loteamento Planta Vila Torres II no município de Campo Largo, ao fundo o reservatório e vegetação da margem esquerda.



Foto 4.4 – Observa-se a ocupação urbana, pastagens e capoeirões. As formas de relevo são o ondulado e forte ondulado. Loteamento São José do Passaúna no município de Curitiba, ao fundo, no final da rua localiza-se a ocupação irregular.



Foto 4.5 – Talude exposto em área urbana, com ocorrência de processo erosivo, carreamento de material inconsolidado para o reservatório. Parte alta do loteamento Jardim Dona Fina no município de Campo Largo.



Verificou-se que a ocupação da área da bacia hidrográfica é diversificada. Caracteriza-se pela ocupação urbana e rural. Os principais usos urbanos (Figura 3.5) encontram-se na área do município de Curitiba na região da Lamenha Pequena, Butiatuvinha e São Braz, nas imediações do Contorno Norte e setor nordeste da estrada da Ferraria, onde está localizada a Cidade Industrial de Curitiba - CIC, com grande número de atividades industriais e de serviços, inclusive posto de combustível. Existem loteamentos em Campo Magro nas adjacências da estrada do Cerne. Os loteamentos no município de Campo Largo localizam-se ao longo da estrada da Ferraria e da rodovia BR-277 à margem direita do rio Passaúna, e em Araucária, ao longo da avenida das Araucárias. A ocupação rural distribui-se por toda a bacia hidrográfica, entremeada a outros usos.

#### 4.3.6.2 Leitura do espaço nas margens do reservatório do rio Passaúna

A paisagem típica no entorno do reservatório apresenta urbanização nas áreas de contribuição direta do lago, ocupações e uso do solo com cultivos agrícolas, contribuições de águas servidas (esgoto e águas pluviais) oriundas das áreas com deficiências de infra-estrutura urbana, taludes expostos causados pela instabilidade das encostas por eventos de escorregamentos e/ou desbarrancamentos associados as oscilações do nível da água do reservatório (Foto 4.6).



Foto 4.6 – Observam-se aspectos panorâmicos de ocupação urbana, pastagens, áreas de matas secundárias. O relevo é forte ondulado. Loteamentos Vila Torres e Vila Torres II no município de Campo Largo, contribuição direta no reservatório das águas servidas e material carreado dos loteamentos.

A figura 4.9 apresenta a posição e os registros fotográficos de alguns locais onde foram observadas áreas potenciais de contribuição de material sedimentar para o reservatório.



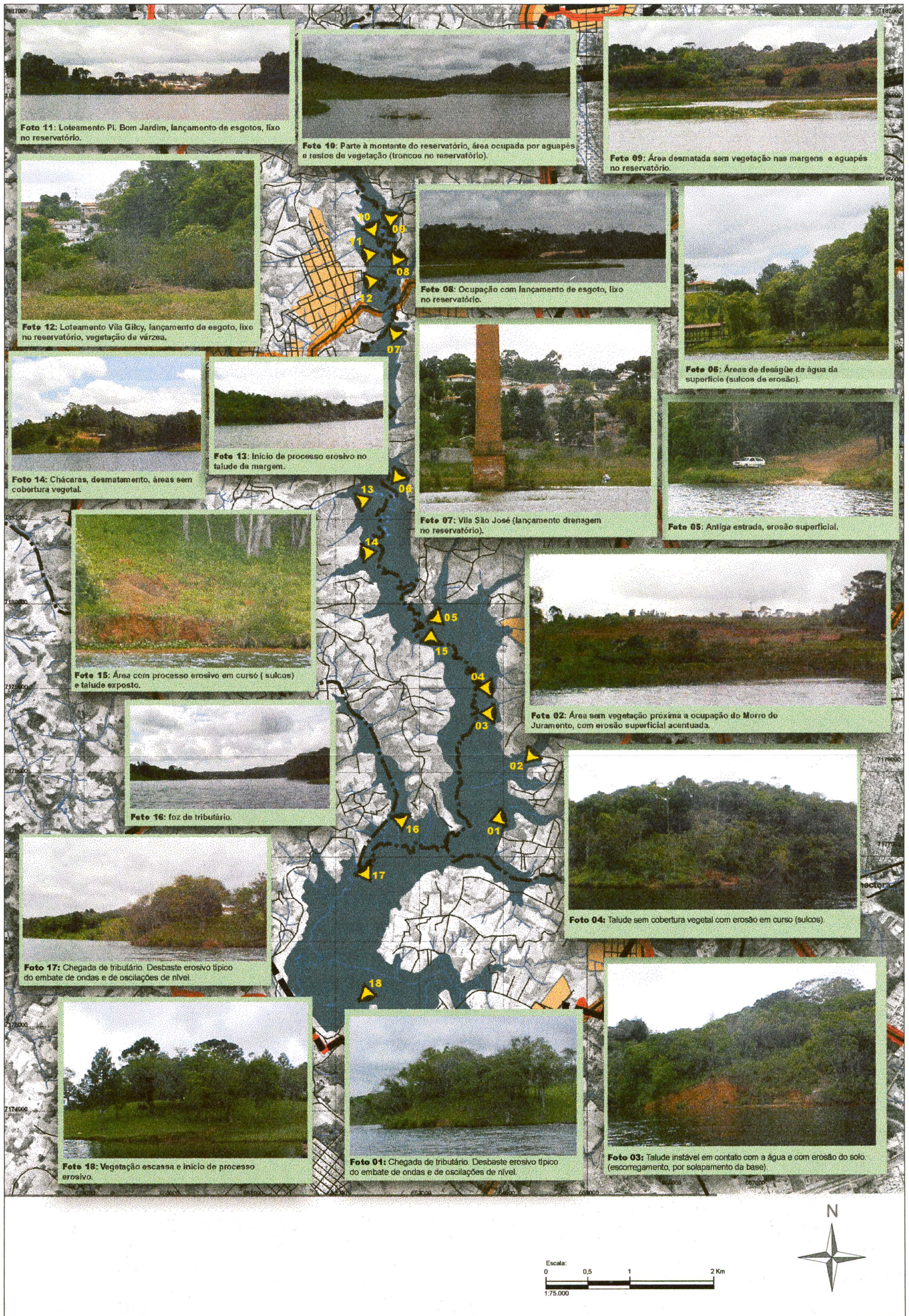


Figura 4.9 - Leitura do espaço nas margens do reservatório do Passaúna, levantamento realizado em novembro de 2002.



## 5. RESULTADOS

O processo de assoreamento no reservatório da barragem do rio Passaúna manifesta-se principalmente através do assoreamento dos canais do rio Passaúna e de seus afluentes, trazendo redução do volume útil do reservatório e deterioração da qualidade dessas águas pelo lançamento direto de águas pluviais, esgoto sanitário e lixo, reflexo das interferências antrópicas na área da bacia hidrográfica (Foto 5.1).



Foto 5.1 – Ponto de lançamento de águas servidas e lixo, de área em encosta com declividade acentuada, em ocupação irregular próximo ao loteamento São José do Passaúna, no município de Curitiba. Resultado das interferências antrópicas na área da bacia hidrográfica do reservatório.

Tendo em vista o comprometimento da qualidade do reservatório, buscou-se avaliar a bacia hidrográfica quanto à potencialidade de geração de sedimentos, através da análise e integração das informações disponíveis e das obtidas nesta pesquisa. Em seguida verificou-se a correlação das áreas-fonte e dos materiais depositados. Os resultados destas análises estão descritos a seguir.

### 5.1 CLASSIFICAÇÃO DE ÁREAS SEGUNDO O POTENCIAL EROSIVO

A classificação de áreas segundo seu potencial de fornecimento de material detrítico baseou-se na análise integrada de fatores naturais e antrópicos condicionantes da erosão laminar.

As classes de potencial erosivo foram definidas com base na elaboração de mapas para os anos 1991 e 2000, a partir da aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo, considerando os fatores naturais (erosividade, erodibilidade e fator topográfico) e antrópicos (uso, manejo do solo e práticas conservacionistas).

Com os dados de pluviosidade (SUDERHSA 2002) foi obtido o fator erosividade das chuvas (R). Utilizaram-se médias pluviométricas, obtendo-se precipitação média mensal de 133,06 mm e precipitação média anual de 1571,0 mm (Anexo 3.2). Que aplicadas à equação representativa da região (Rufino 1993), o fator R calculado, adotado nesse estudo, foi de 5016 MJ. mm /ha. h. ano.

Para o cálculo do fator erodibilidade do solo (K), foram adotados os valores definidos por Roloff (2002) (Quadro 4.1). Não têm significado quantitativo, devendo ser entendidos como valores qualitativos utilizados exclusivamente para compor um quadro relativo geral de erodibilidade da bacia hidrográfica. A área correspondente a cada fator K, na área da bacia hidrográfica, esta apresentada na figura 5.1.

O fator topográfico (LS), foi obtido através da aplicação das classes apresentadas na tabela 4.1. Os resultados geraram um mapa correspondente para a área da bacia hidrográfica (Fig. 5.2). Conforme indicam os resultados, a bacia hidrográfica do reservatório Passaúna apresenta maior percentual de áreas para as declividades entre 5 e 30% (tabela 5.1).

Tabela 5.1 - Relação de declividade com percentual de ocorrência na área da bacia hidrográfica.

Declividade (%)	Área (ha)	%
0 – 5	2.553	17,78
5 – 15	4.564	31,78
15 – 30	5.150	35,86
> 30	2.094	14,58

O fator uso, manejo e práticas conservacionistas (CP), foi calculado conforme proposta de Stein et al. (1987). Reflete as ocupações e uso do solo na área para os anos 1991 (COMEC 1991, 1995) e 2000 (COBRAPE 2000), e constitui-se no único fator variante utilizado na avaliação do potencial erosivo da bacia hidrográfica. Os valores de CP foram atribuídos primeiramente ao mapa de uso do solo do ano 2000, a partir do quadro 4.3, com obtenção da figura 5.3. Posteriormente, para o mapa de uso do solo do ano 1991, a partir do quadro 4.4, que resultou na figura 5.4.

O uso destes fatores na aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo resultou nos mapas das figuras 5.5 e 5.6, que apresentam áreas potenciais de produção de sedimentos, em decorrência de condições naturais e antrópicas, referenciando os anos 2000 e 1991, respectivamente. Apresentam cinco diferentes classes de potencial erosivo, definidas por intervalos de valores numéricos obtidos pelo produto dos índices representativos dos fatores. Para facilitar a análise, os valores de perdas de solo para a bacia hidrográfica do reservatório Passaúna, estão hierarquizados em cinco classes de potencial erosivo, conforme resultados obtidos do cálculo do valor A, sendo:



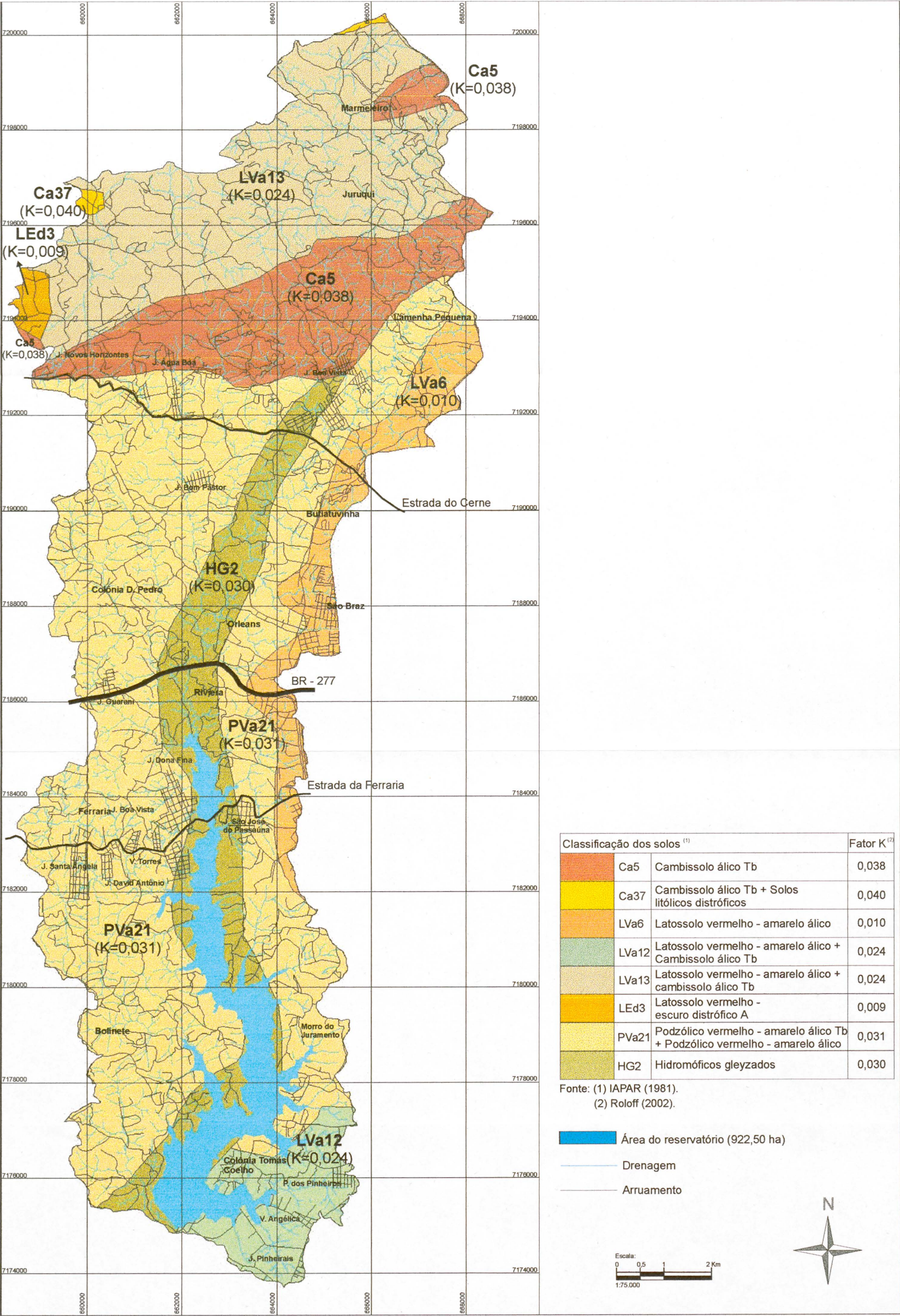


Figura 5.1 - Classificação dos solos e fator K correspondente, para a bacia hidrográfica do reservatório Passaúna.



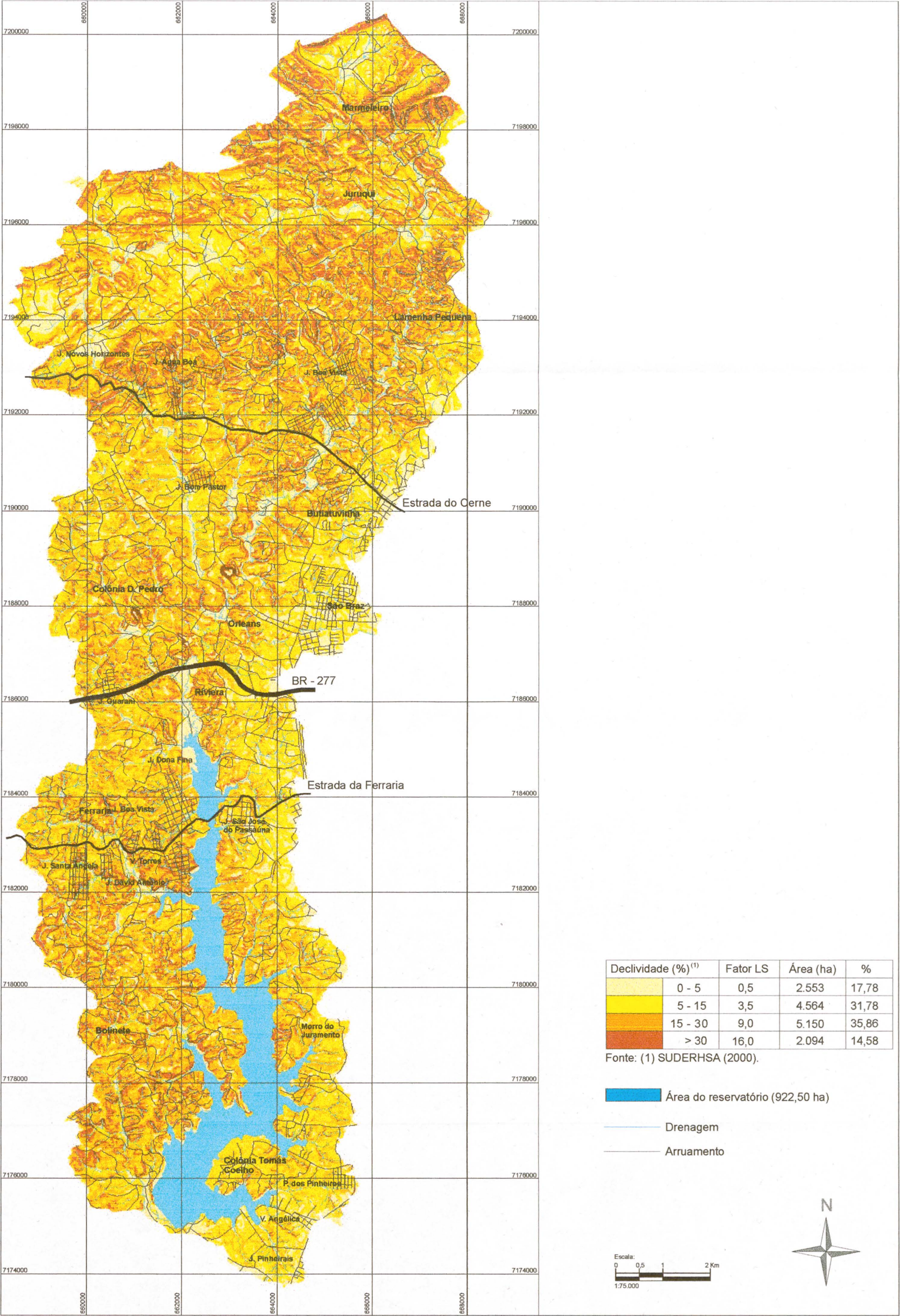


Figura 5.2 - Mapa de declividades do terreno e fator LS correspondente, para a bacia hidrográfica do reservatório Passaúna.



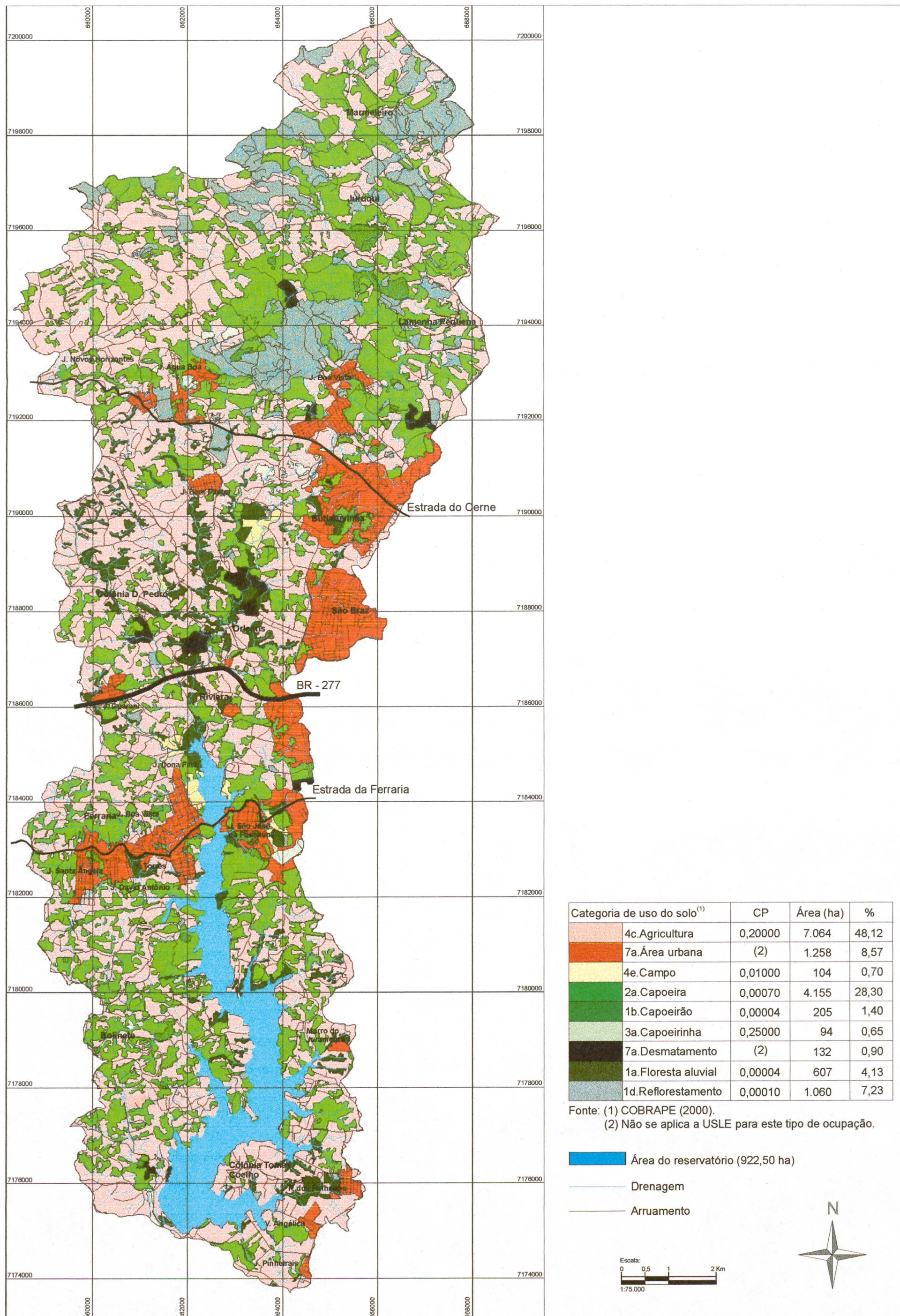


Figura 5.3 - Categoria de uso, manejo do solo, prática conservacionista e fator CP correspondente do ano 2000, para a bacia hidrográfica do reservatório Passaúna.







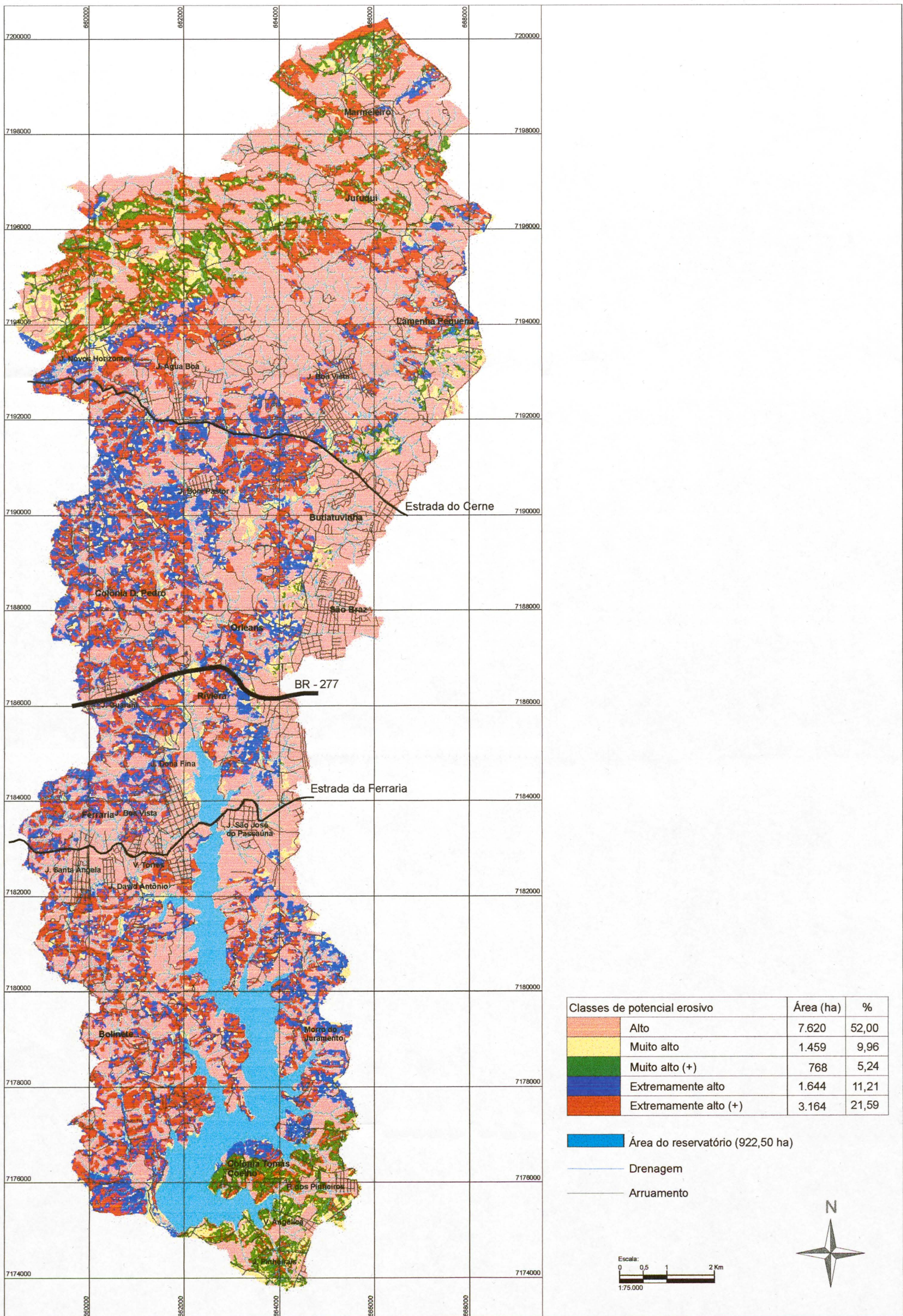


Figura 5.5 - Classes de potencial erosivo obtido através da Equação Universal de Perdas de Solo - USLE do ano 2000, para a bacia hidrográfica do reservatório Passaúna.



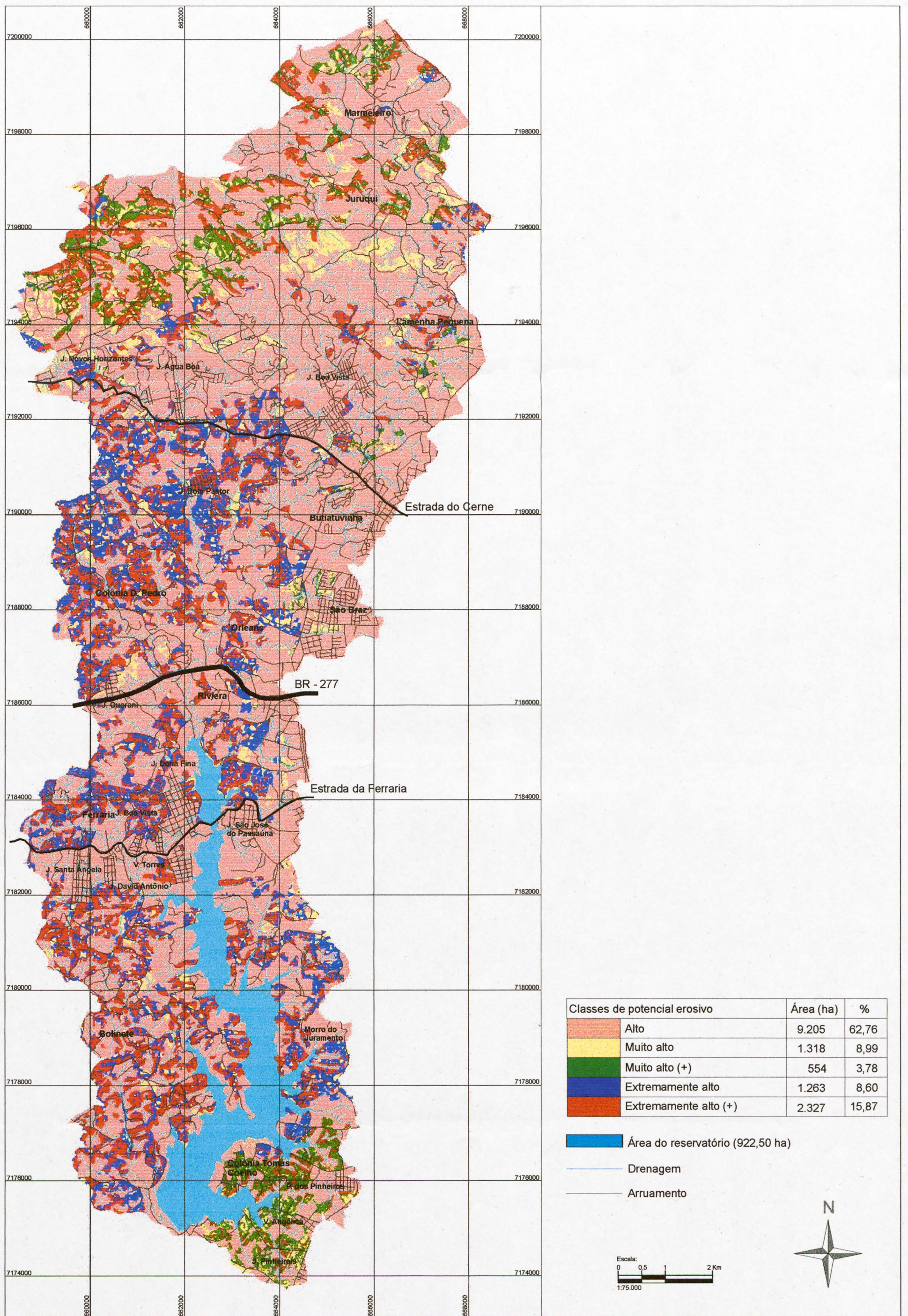


Figura 5.6 - Classes de potencial erosivo obtido através da Equação Universal de Perdas de Solo - USLE do ano 1991, para a bacia hidrográfica do reservatório Passaúna.



Quadro 5.1 – Classes de potencial erosivo para a bacia hidrográfica

Classe de potencial	Perdas de solo (A)
Alto	Até 10 t/ha ano
Muito alto	Entre 10 e 50 t/ha ano
Muito alto +	Entre 50 e 100 t/ha ano
Extremamente Alto	Entre 100 e 200 t/ha ano
Extremamente Alto +	Acima de 200 t/ha ano

Tais valores numéricos não podem ser tomados como dados absolutos de perdas de solo por erosão. Foram utilizados tão somente para categorizar qualitativamente as áreas quanto as suas maiores ou menores suscetibilidades à erosão laminar, e não consideram as áreas com ocupação urbana. Valores de A ( $< 3$  t/ha ano) são classificados como baixo e valores de A ( $< 1$  t/ha ano) são classificados como muito baixo.

As tabelas 5.2 e 5.3 apresentam a área total para cada classe de potencial erosivo do solo.

Tabela 5.2 – Classes de potencial de perda média anual de solo, conforme resultados obtidos do cálculo do valor A para o ano 2000 e o correspondente % de ocorrência na área da bacia hidrográfica.

Classe	Área total (ha)	%
Alto	7.620	52,00
Muito alto	1.459	09,96
Muito alto +	768	05,24
Extremamente Alto	1.644	11,21
Extremamente Alto +	3.164	21,59

Tabela 5.3 - Classes de potencial de perda média anual de solo, conforme resultados obtidos do cálculo do valor A para o ano 1991 e o correspondente % de ocorrência na área da bacia hidrográfica.

Classe	Área total (ha)	%
Alto	9.205	62,76
Muito alto	1.318	08,99
Muito alto +	554	03,78
Extremamente Alto	1.263	08,60
Extremamente Alto +	2.327	15,87

As características gerais das áreas de potencial erosivo para a bacia hidrográfica definidas por classes, são as seguintes:

a) Classes de potencial erosivo extremamente alto

São áreas constituídas predominantemente por relevo forte ondulado (morros, partes de colinas, outeiros), associadas a solos altamente erodíveis (podzólicos com alta gradiência textural - PVa21, cambissolo álico e litólicos distróficos -Ca37), conforme descrito no mapa do IAPAR (1981). São solos que apresentam maior erodibilidade, maior gradiência textural, de estrutura mais fraca e mais granulares, menos densos e com menor capacidade de retenção de água. Por tais características, têm seus constituintes mais facilmente desagregados e os componentes finos mais facilmente submetidos a suspensão, pois correspondem a um horizonte superior, que engloba particularidades de solos granulares mais permeáveis, sobreposto a horizonte onde a infiltração é dificultada, mais argiloso. Tais características criam condições para uma rápida saturação do perfil superficial e conseqüente ação do escoamento na camada mais facilmente erodível, além de facilitar a remoção interna de materiais através do “*piping*” (as águas infiltradas da própria chuva ou as águas subsuperficiais, podem causar erosão interna) (Foto 5.2).



Foto 5.2 – Talude exposto. Notar a estrutura do solo da região e o processo erosivo, em curso, com escoamento da camada superficial. Localizado na estrada da Ferraria, próximo à ponte sobre o rio Passaúna, no município de Campo Largo.

Tais características tornam essas áreas bastante problemáticas para qualquer tipo de ocupação, principalmente para a exploração agrícola. Há basicamente três níveis de preocupação quanto ao uso dessas terras. Áreas de relevos mais acentuados com cobertura de solos de pequena espessura e altamente erodíveis não devem ser ocupados. Se já destituídas da vegetação natural, devem ser ocupadas apenas por reflorestamento. Em regiões de outeiros e morros com encostas de declive maior que 15%, não se recomenda a instalação de culturas, sendo mais adequado o uso para o reflorestamento e pastagens. Na foto 5.3, pode-se observar área com agricultura, destituída de vegetação natural em sua maior parte, em encosta com declividade elevada, localizada junto ao reservatório.

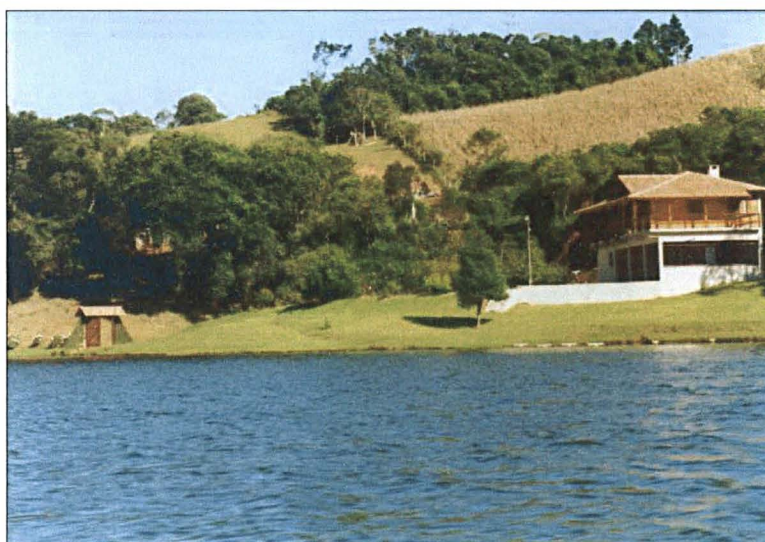


Foto 5.3 – Área em encosta com declividade elevada, destituída de vegetação natural, com agricultura (milho) e pastagens. Localizada junto ao reservatório, próximo ao ponto de coleta nº 12, no município de Araucária.

As áreas com declives menos acentuados das encostas, a instalação de culturas exige



práticas conservacionistas complexas. Práticas estas não aplicadas na região, como é observada na área a ser cultivada (Foto 5.4).



Foto 5.4 – Área junto as margens do reservatório em preparo mecanizado para cultivo agrícola. Notar a declividade acentuada. Local próximo a ponto de coleta nº 02, no município de Araucária.

Essas classes de potenciais erosivos correspondiam a 32,8% da área da bacia hidrográfica, no ano 2000, segundo resultados apresentados pela aplicação da Equação de Perdas de Solo.

#### b) Classe de potencial erosivo muito alto

São áreas constituídas por relevos relativamente movimentados (principalmente colinas e outeiros), cujas encostas apresentam declividades de 5 a 15% ou solos altamente erodíveis, conforme descrito no mapa do IAPAR (1981). Stein (1999) descreveu que tais características facultam a utilização agrícola com culturas anuais, semi-perenes e perenes, porém exigindo a adoção de técnicas conservacionistas complexas, ou seja, a necessidade de combinar práticas de caráter vegetativo, tais como: plantas de cobertura, plantio direto, cultura em faixa, cordões de vegetação permanente, alternância de capinas, ceifa do mato, cobertura morta, quebra-ventos; de caráter edáfico: controle de fogo, adubação verde, adubação química, adubação orgânica, calagem, e de caráter mecânico: plantio de contorno, terraceamento, sulcos e canais escoadouros.

A escolha dessas técnicas deve, necessariamente, adaptar-se às características físicas e químicas do solo, à declividade e comprimento da encosta, e ao tipo de cultura, de maneira a garantir a máxima infiltração e menor escoamento das águas pluviais. Requer, portanto, o conhecimento detalhado da área a ser tratada, em nível de microbacia de drenagem, devendo o agricultor recorrer às orientações de técnicos especializados em levantamento e conservação do solo. Na foto 5.5 observa-se área com cultivo agrícola (tomate), sem combinar práticas de caráter vegetativo, próxima a talude exposto com erosão, em curso, no município de Araucária, junto ao reservatório.

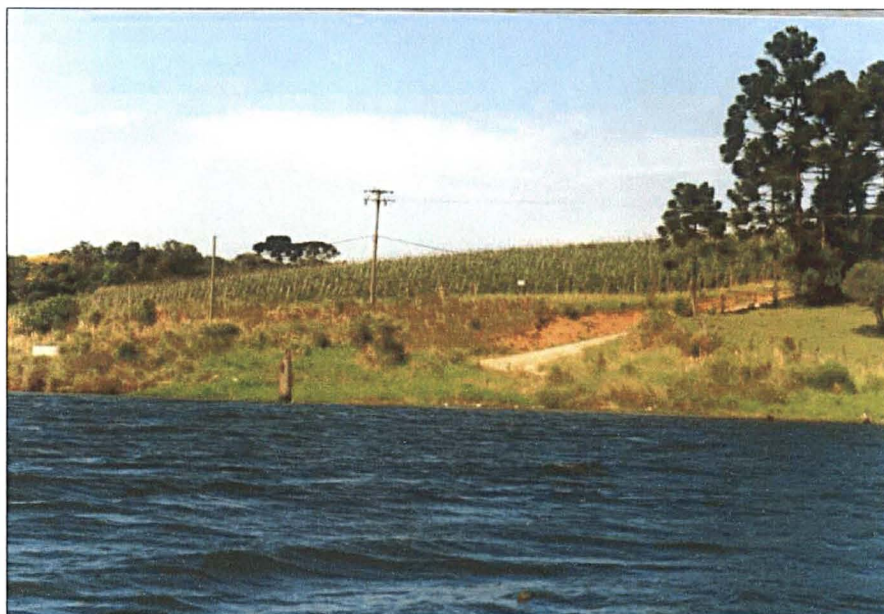


Foto 5.5 –Área com cultivo agrícola (tomate), sem combinar práticas de caráter vegetativo. Localizada ao lado de antiga estrada vicinal e próxima a talude exposto com processo erosivo em curso. Área de contribuição de tributário com deságüe no ponto de coleta nº 11, no reservatório, no município de Araucária.

Essa classe de potencial erosivo correspondia a 15,2% da área da bacia hidrográfica, no ano 2000, resultado apresentado pela aplicação da Equação de Perdas de Solo.

#### c) Classe de potencial erosivo alto

São áreas constituídas predominantemente por relevo com menor declividade nas encostas (inferior a 5%) com cobertura vegetal, e por solos resistentes à erosão, tais como os latossolos de textura argilosa, podzólicos argilosos com baixa gradência textural e solos hidromórficos gleyzados, conforme descrito no mapa do IAPAR (1981). Incluiu-se também neste estudo na classe de potencial erosivo alto, áreas com baixo e muito baixo potencial erosivo, com relevo praticamente plano, independentemente da cobertura de solo. As características dessas áreas possibilitam qualquer tipo de exploração agrícola com a utilização de práticas simples de conservação de solo, de caráter vegetativo e/ou de caráter edáfico (relativo ao solo). Situações particulares e restritas em áreas com maior declividade podem exigir alguns cuidados conservacionistas complementares. Carvalho (1991) quando considera os efeitos do transporte de sedimentos na fertilidade do solo comenta que a perda do solo superficial das terras agriculturáveis acarreta sério dano de natureza econômica. Olson 1983 (in Silva 1993) indica que a detecção de problemas relacionados com o mau uso de solos florestados, inaptos para culturas, exige melhores informações para evitar os erros cometidos no passado e tomar decisões mais coerentes no futuro.

Na foto 5.6 pode-se observar cultivo agrícola (milho), intercalado com vegetação natural, favorecendo a preservação do solo.





Foto 5.6 – Área com cultivo agrícola (milho), em relevo de baixa declividade, cultivo intercalado com vegetação natural. Localizada em área rural próximo ao loteamento São José do Passaúna, no município de Curitiba, com deságüe na área próxima aos pontos de coleta nº 29 e 32.

Essa classe de potencial erosivo correspondia a 52,0% da área da bacia hidrográfica, no ano 2000, resultado apresentado pela aplicação da Equação de Perdas de Solo.

O reservatório da barragem do rio Passaúna apresentou, no estudo, áreas expressivas de produção de sedimentos. A partir da comparação entre os dois mapas (Fig. 5.5 e 5.6), foram observadas mudanças no quadro físico da área, cuja evolução foi marcante no período 1991 a 2000, como mostraram os incrementos ocorridos nas classes de potenciais erosivos obtidos através da Equação Universal de Perdas de Solo (Tab. 5.2 e 5.3). Áreas classificadas com maior suscetibilidade à erosão laminar aumentaram em torno de 10 pontos percentuais, registradas nas classes de potencial erosivo extremamente alto. Alguns incrementos estão associados diretamente ao desmatamento e a agricultura na área da bacia hidrográfica, resultados da exploração comercial das terras (Foto 5.8), outras resultado da dinâmica natural da bacia. A tendência de uso e ocupação (Foto 5.7) e as características naturais e antrópicas da bacia, denotam forte e rápido incremento de usos que promovem concentração de escoamento em um meio natural preparado para o escoamento laminar. Por outro lado, a condição de infiltração das águas pluviais, também se altera, fator preocupante para a bacia de abastecimento, com diminuição do volume de água armazenada no reservatório pela deposição de material no fundo. Situação que se agrava no período de estiagem.



Foto 5.7 – Pode-se observar a ocupação urbana inadequada que ocorre no entorno do reservatório. Loteamento São José do Passaúna, no município de Curitiba, e ao fundo loteamentos existentes ao longo da estrada da Ferraria no município de Campo Largo.

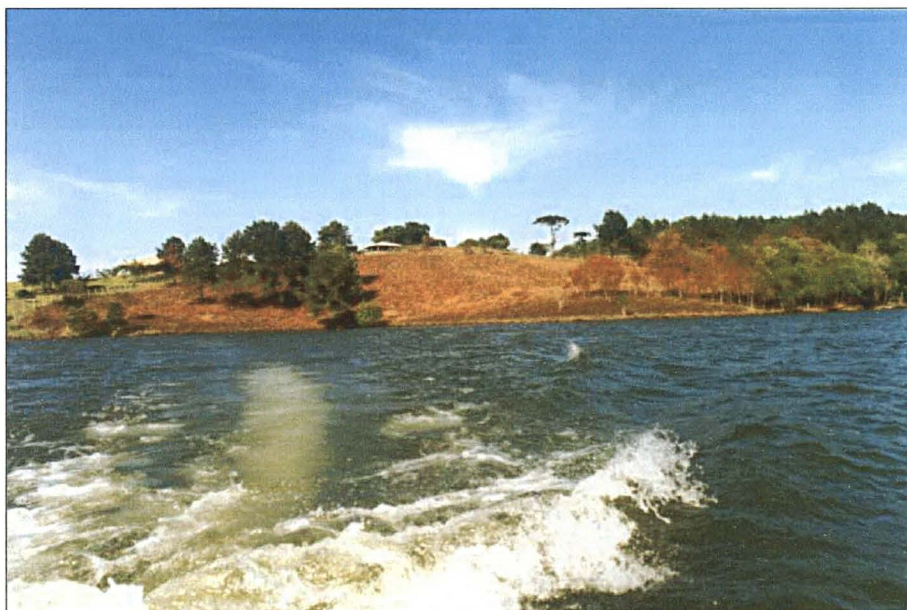


Foto 5.8 – Área em talude com declividade acentuada, registra-se queimada recente da mata e da vegetação existente, para cultivo agrícola. Localiza-se no município de Campo Largo, no entorno do reservatório, próximo a ponto de coleta nº 45.

O processo erosivo também foi observado nas encostas marginais e nas bordas do reservatório. Estes processos diferem dos anteriores por aduzirem detritos diretamente ao interior do reservatório, praticamente não sofrendo os efeitos de um transporte prolongado. Em alguns pontos esses processos assumem a importância local, e têm grande influência no assoreamento de áreas contíguas ao reservatório (Fotos 5.9 a 5.14).





Foto 5.9 - Talude instável, exposto, na margem direita do reservatório, com processo erosivo em curso, proteção com muro em concreto e com pneus colocados pelo proprietário da área, situação verificada em vários pontos no reservatório, principalmente no município de Araucária. Este ponto localiza-se próximo a ponto de coleta nº 13.



Foto 5.10 - Talude instável, exposto, nas margens de tributário da margem direita do reservatório, com processo erosivo em curso, proteção com pneus colocada pelo proprietário da área, situação verificada em vários pontos no reservatório, principalmente no município de Araucária, em longas extensões no tributário, com deságüe no ponto nº 12.





Foto 5.11 – Área de empréstimo de material na margem direita do reservatório. Camada superficial com rocha alterada e material solto, ao fundo observa-se antigo trecho de estrada que ligava a área de empréstimo à barragem, próxima a barragem e a ponto de coleta nº 04, no município de Araucária.



Foto 5.12 – Área desmatada recentemente, encostas com grande declividade, processo erosivo em curso, lançamento de águas servidas, lixo e arraste do material inconsolidado do loteamento ao reservatório. Vista do loteamento Planta Bom jardim, no município de Campo Largo, entre e estrada da Ferraria e o reservatório.



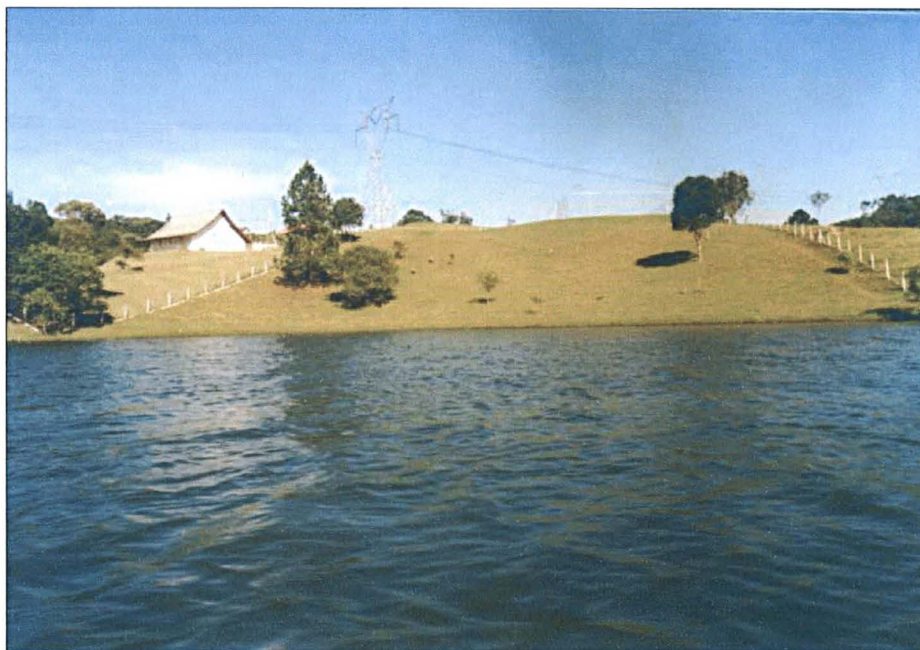


Foto 5.13 – Área com desmatamento recente para implantação de treinamento de hipismo, encosta com grande declividade, atualmente com pastagens, no município de Curitiba, próximo ao ponto de coleta nº 14.

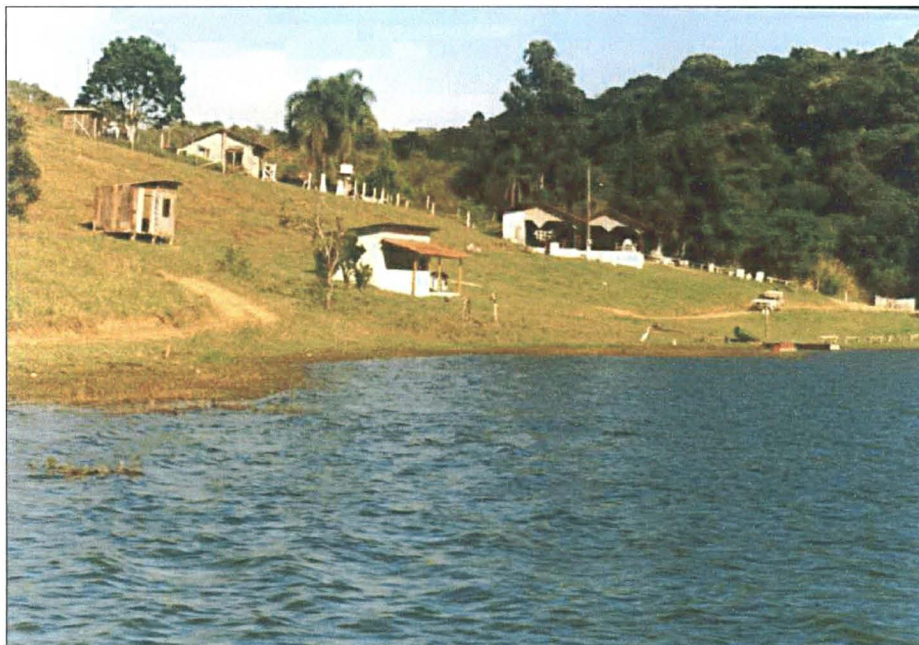


Foto 5.14 – Pesque e pague com área desmatada recentemente, encosta com grande declividade, construções recentes com lançamento de águas servidas, lixo e arraste do material inconsolidado direto no tributário, que deságua no reservatório, no ponto de coleta nº 12. Localizada na divisa dos municípios de Campo Largo e Araucária.

## 5.2 ANÁLISE DO FUNDO DO RESERVATÓRIO

Nesse procedimento objetivou-se principalmente realçar áreas com processo de assoreamento no fundo do reservatório através da interpretação das imagens de sonografia, com identificação de áreas de assoreamento ocorrido após o enchimento do lago e através da avaliação textural do material coletado do fundo do reservatório e dos testemunhos verticais. Para identificação do provável assoreamento ocorrido no reservatório, buscou-se identificar feições e características texturais do material nas fases de pré-enchimento e pós-enchimento do reservatório (Fig. 5.7).

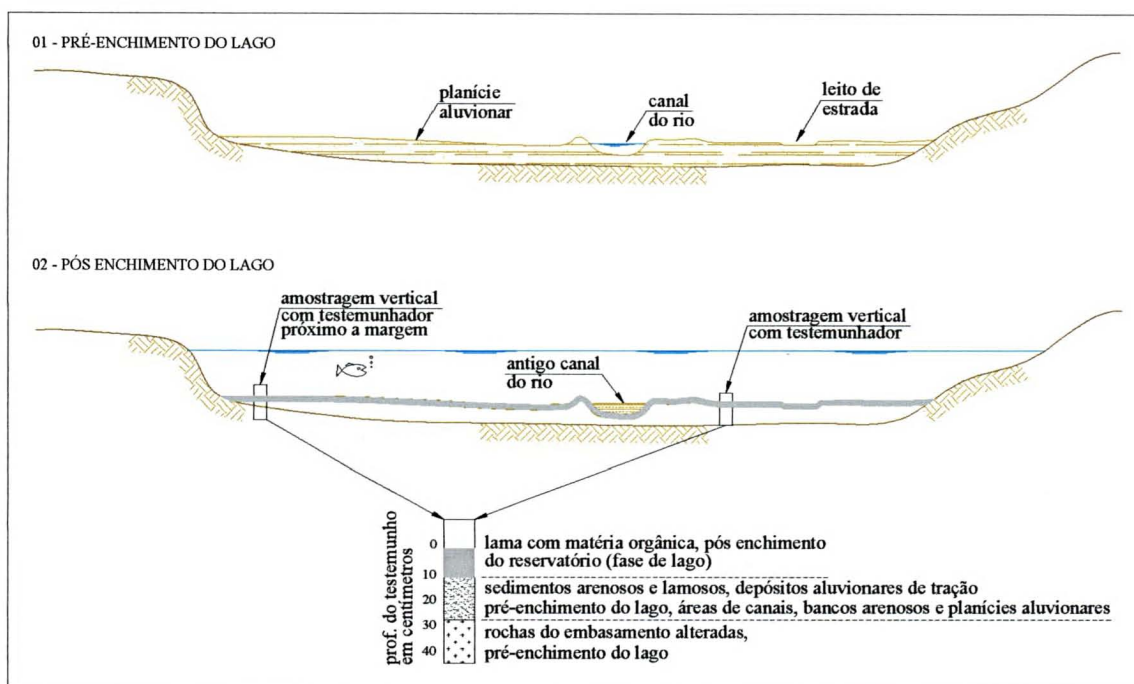


Figura 5.7 – Croqui esquemático do fundo do reservatório do rio Passaúna nas fases pré-enchimento e pós-enchimento.

Os registros do imageamento com sonar foram tratados com o uso de softwares (Autocad, CorewDrall e PANAVUE), devidamente georreferenciados. Este levantamento permitiu reconhecer feições de assoreamento do fundo, que orientaram a amostragem posterior de sedimentos. Permitiram averiguar as relações entre as áreas-fonte potenciais contribuintes para a produção sedimentar e fontes potenciais nas margens do reservatório (Fig. 4.9 e Fotos 5.9 a 5.14). Na interpretação das imagens de sonografia (Souza, comunicação pessoal 2002) pode-se observar depósitos de assoreamento sobre vários trechos do antigo canal principal do rio Passaúna (Fig. 5.8), sobre o leito de antigas estradas (Fig. 5.9), alteração na textura da superfície de fundo quando da desembocadura do rio da Ferraria e de tributários afluentes ao reservatório (Fig. 5.10). Nos apêndices 5.1 a 5.7 são apresentados outros trechos avaliados do reservatório.



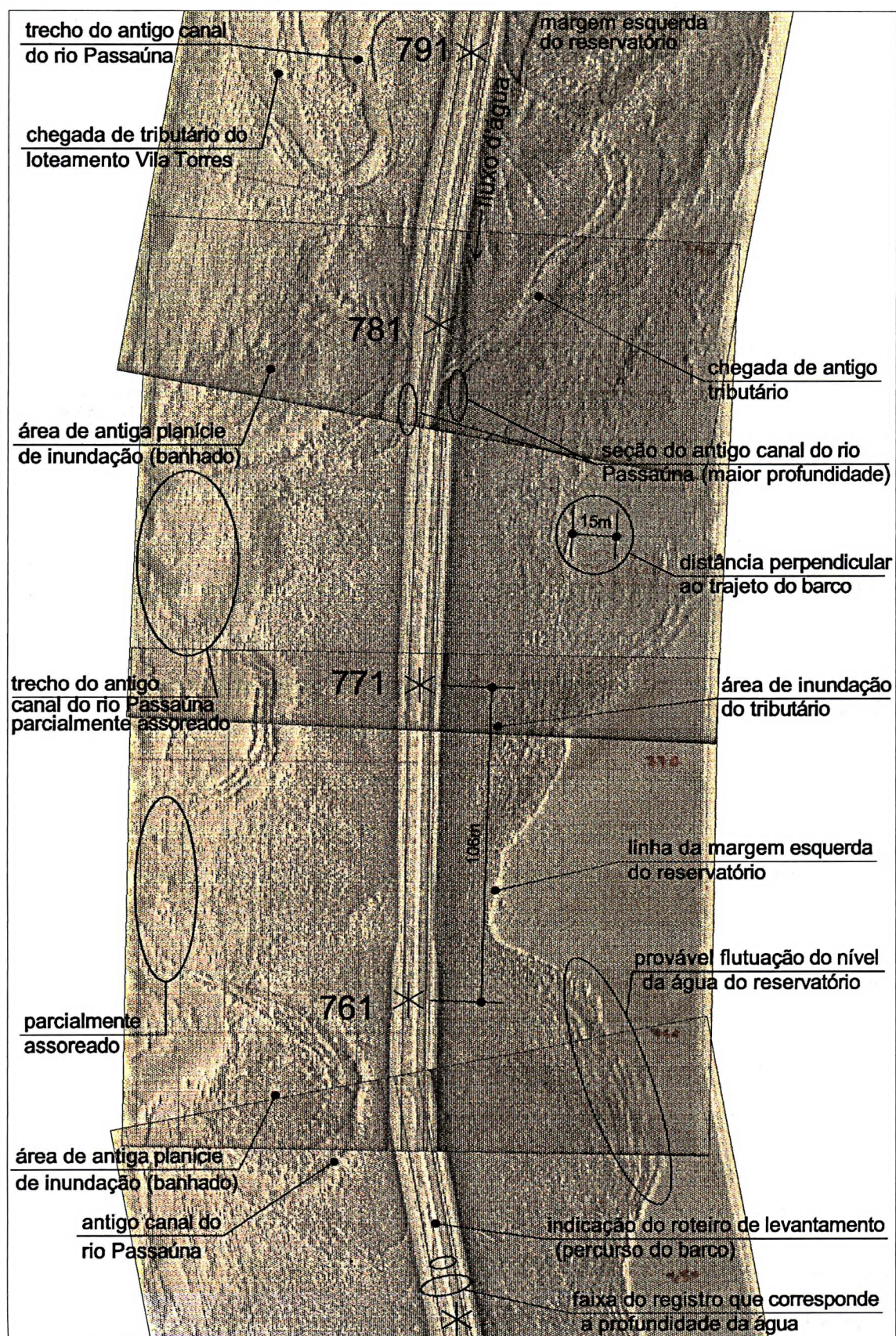


Figura 5.8 - Interpretação da imagem de sonografia do trecho próximo das estações 751 e 791.



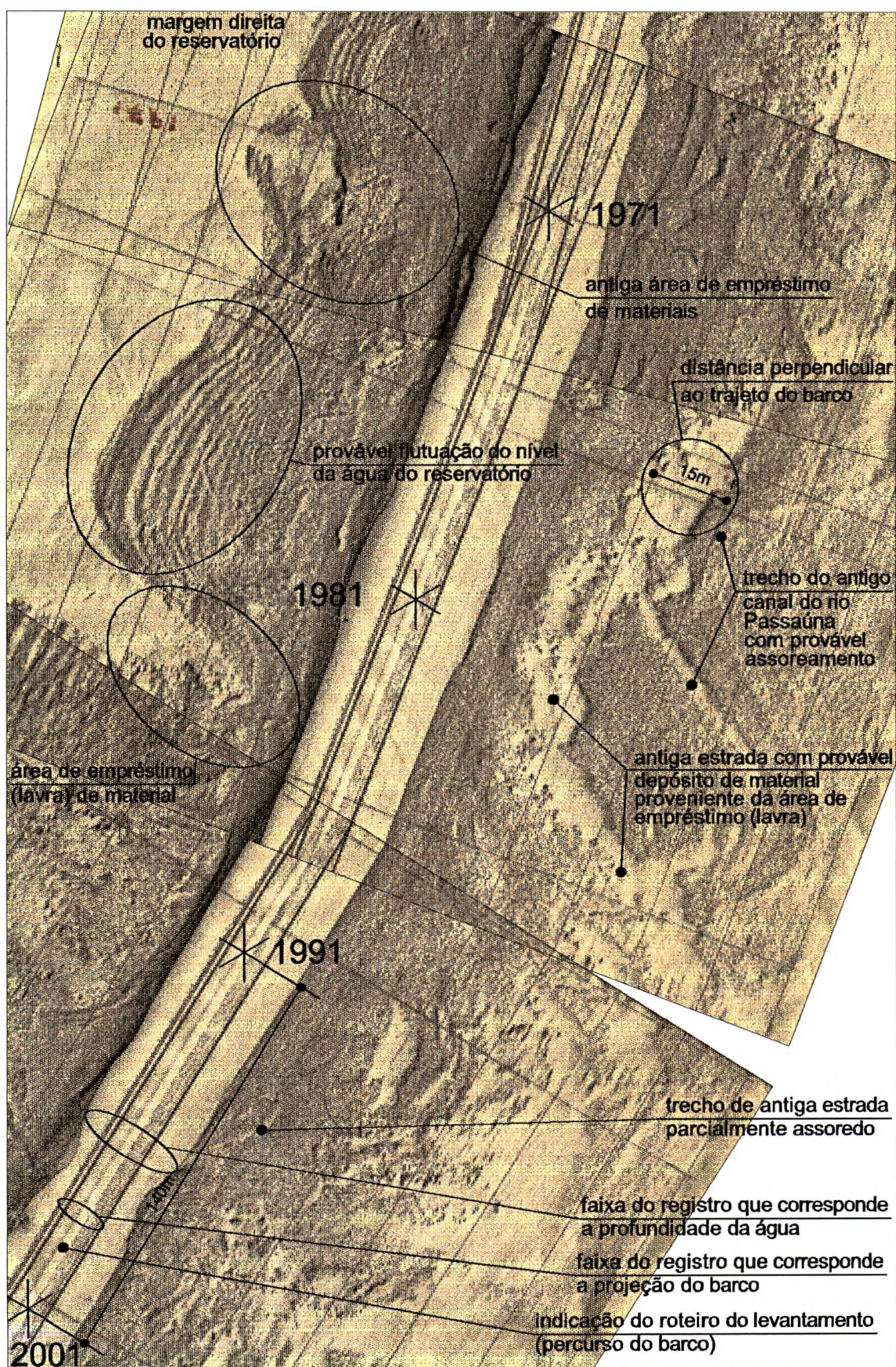


Figura 5.9 - Interpretação da imagem de sonografia do trecho próximo das estações 1971 e 2001.



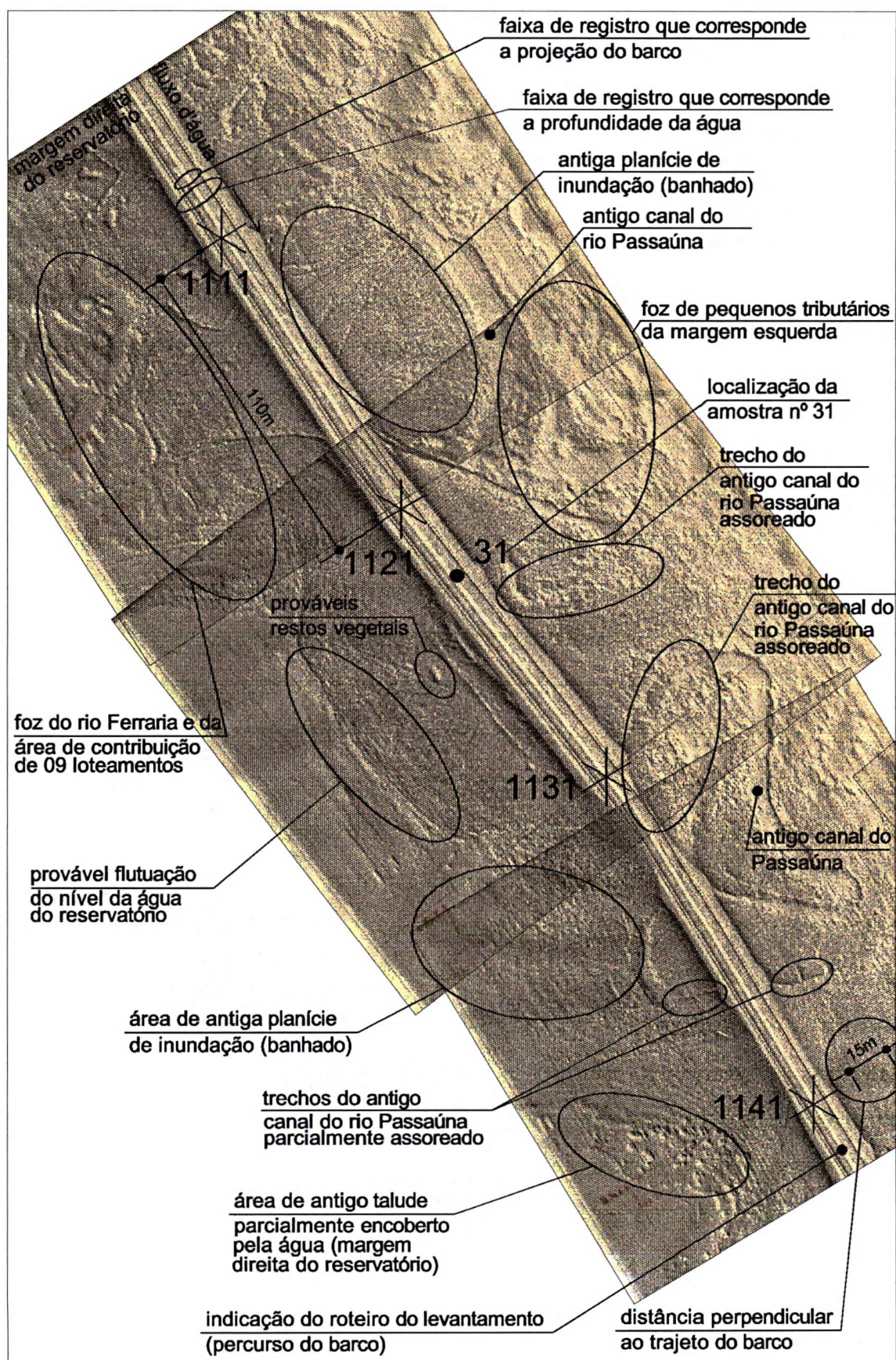


Figura 5.10 - Interpretação da imagem de sonografia do trecho próximo das estações 1111 e 1141.



A análise dos testemunhos verticais, apesar de não fornecer um registro contínuo da coluna de sedimentos para toda a área do reservatório, permitiu a obtenção de dados básicos necessários à investigação da estratigrafia e evolução do processo de assoreamento que vem ocorrendo no reservatório.

A camada superior, dos testemunhos verticais de espessura em geral centimétrica, no caso da lama rica em matéria orgânica, em contato brusco com material arenoso foi interpretada como camada depositada em condições de “lago”, criada com a implantação da barragem (em 09/90). São depósitos com muita matéria orgânica (muitos restos vegetais preservados) compostos por sedimentos pelíticos, argila a areia, e coloração em tonalidades mais escuras. Pequenas frações de grânulos subangulosos de quartzo e feldspato encontrados nas amostras devem estar associados à material inconsolidado das margens e a área de empréstimo de material da obra da barragem.

Os resultados das análises granulométricas (Apêndice 4.1) das amostras de superfície do fundo apresentaram alto teor de matéria orgânica no material inconsolidado do fundo do reservatório, figura 5.11, e comprovam a ocorrência atual de deposição de material.

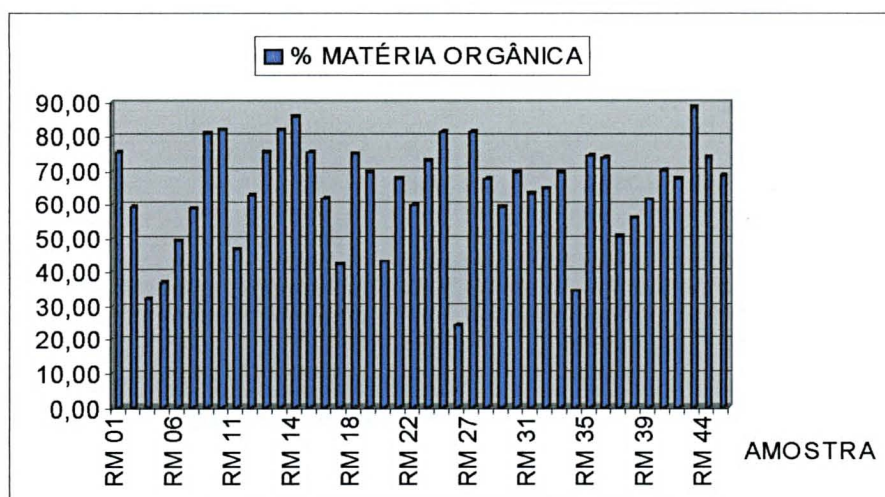


Figura 5.11 - Gráfico representativo dos teores percentuais de matéria orgânica das amostras coletadas de material inconsolidado do fundo do reservatório.

Pelas imagens da sonografia, observa-se que o antigo canal principal do rio Passaúna, mantinha características de rio meandrante (Fig. 5.8), isto pode ser confirmado com cartas topográficas ou fotos aéreas, imagens de satélite, pré-enchimento do reservatório. Nestes ambientes deposicionais, o topo da seção completa do rio termina em lama e argila, correspondente a colmatação total dos canais abandonados (Suguio 1979).

O material arenoso da base deve corresponder a depósitos aluvionares antigos (fase pré-enchimento), de tração, processo responsável pela construção de barras arenosas de canal e de barras de pontal.

Na avaliação dos testemunhos verticais, os depósitos correspondentes ao pré-enchimento do reservatório, compostos por sedimentos pelíticos, apresentam material de granulometria mais



rossa e cores em tons mais claros, com menor quantidade de matéria orgânica. Corresponderiam aos epósitos de planície aluvionar.

Nos testemunhos verticais n.º 6 e 11, ambos na margem direita do reservatório, próximo de rea de empréstimo da obra da barragem, foram encontrados seixos subangulosos de tamanho entimétrico (1,2 a 1,5 cm) (Fig.5.12), provavelmente associados às atividades na área de empréstimo.

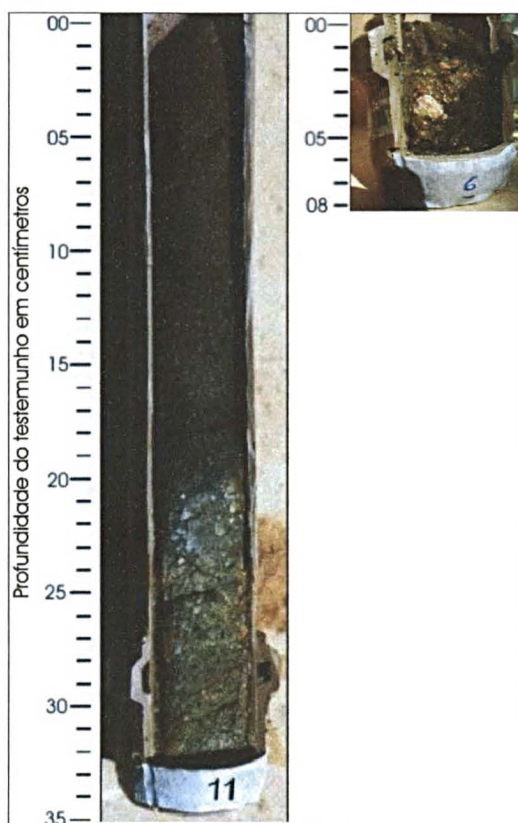


Figura 5.12 – Material coletado com testemunhador vertical n.º 6 e 11, compostos por sedimentos pelíticos, matéria orgânica (com restos vegetais preservados) e porção composta por grânulos e seixos subangulosos de tamanho milimétricos a centimétricos (1,2 a 1,5 cm) de provável composição feldspática.

Os testemunhos verticais n.º 4, 5, 6, 7, 11 e 12, com perfis representados na figura 5.13, coletados de áreas próximas a área de empréstimo de material na fase da obra da barragem. As camadas que correspondem ao pré-enchimento, material associado a atividades na área de empréstimo, são formadas por materiais mais grossos, compostos por pequena fração de grânulos e seixos subangulosos. Estes testemunhos apresentam visivelmente, diferentes camadas de sedimentos. Destaca-se nos testemunhos verticais n.º 4 e 11, a camada correspondente ao pós-enchimento, decantação de pelitos e matéria orgânica, com coloração mais escura, granulometria mais fina e espessura da ordem de 12 e 22 cm, respectivamente. Observam-se pequenas porções de grânulos e seixos subangulares no material correspondente ao pós-enchimento, provavelmente associados a desbarrancamento de taludes.

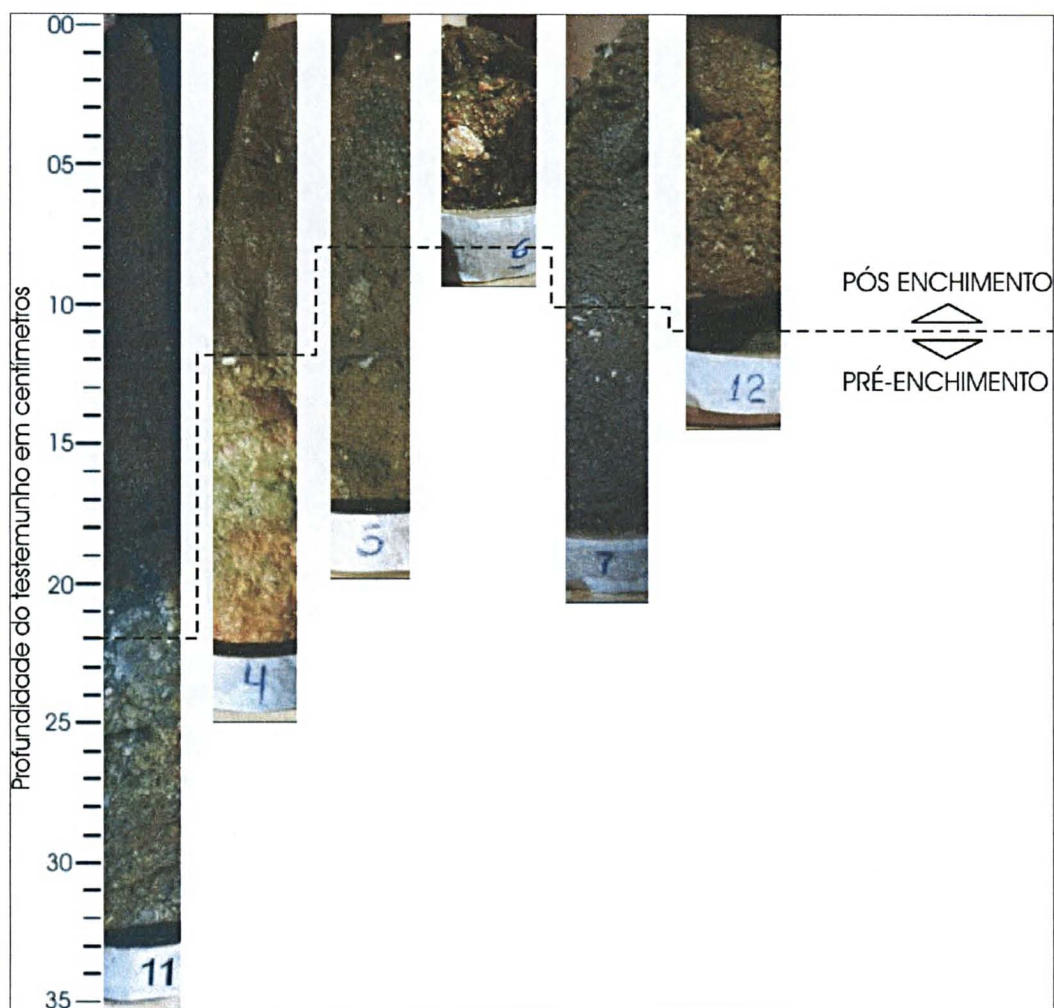


Figura 5.13 - Perfil característico dos testemunhos verticais coletados nos pontos nº 4, 5, 6, 7, 11 e 12, localizados próximo a antiga área de empréstimo de material para a construção da barragem, na margem direita do reservatório.

Os testemunhos verticais n.º 8, 14 e 46 foram coletados em locais mais internos do reservatório, próximos ao antigo canal principal do rio Passaúna. São compostos por matéria orgânica (com muitos restos vegetais preservados), apresentados na figura 5.14. Destes testemunhos destacam-se, o testemunho vertical n.º 8 que apresenta camada, correspondente ao pós enchimento, decantação de pelitos e muita matéria orgânica (com muitos restos vegetais preservados), de aproximadamente 36,5 cm, e na camada correspondente ao pré-enchimento, de aproximadamente 7,5 cm, poucos restos vegetais e coloração mais clara. Os testemunhos verticais n.º 14 e 46, apresentam na camada, correspondente ao pós enchimento, espessura de aproximadamente 20 cm, coloração mais escura.



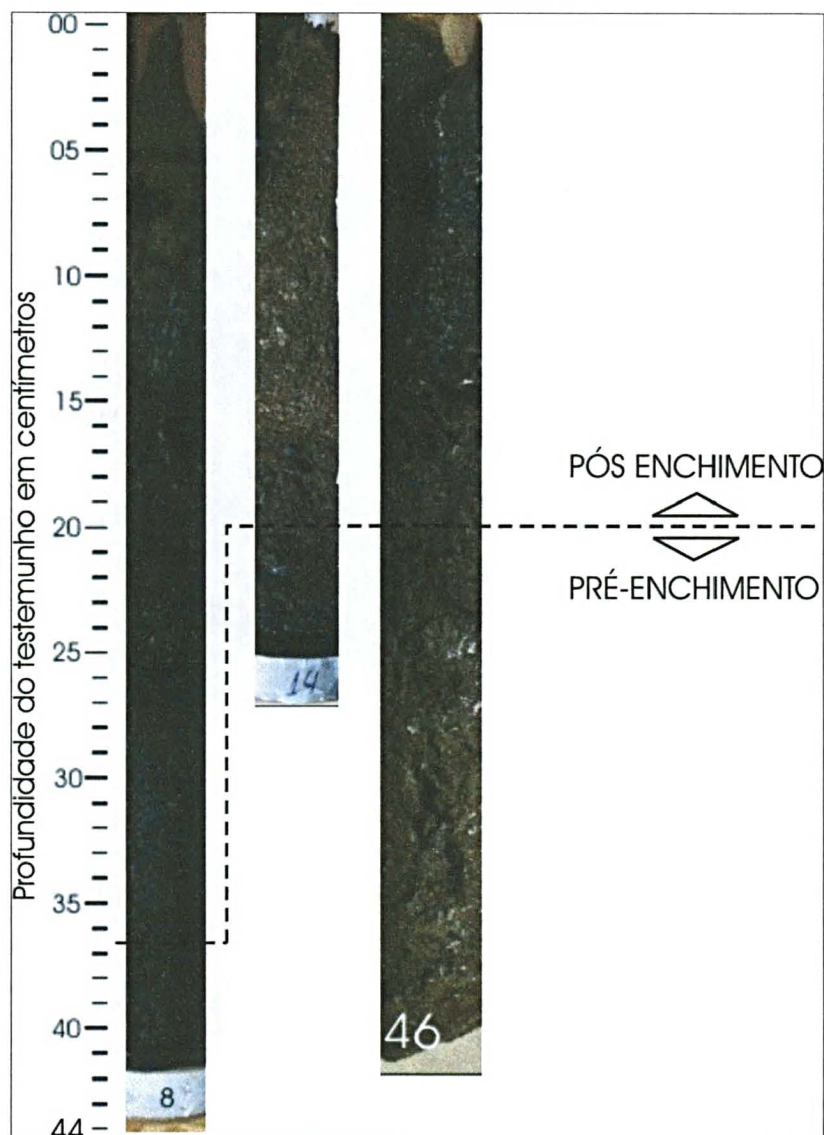


Figura 5.14 - Perfil característico dos testemunhos verticais coletados nos pontos nº 8, 14, e 46, localizados na área mais interna do reservatório, próximo ao antigo canal principal do rio Passaúna.

Os testemunhos verticais n.º 40, 41, 42 e 45 foram coletados em locais próximos a taludes expostos ao longo das margens do reservatório, apresentam maiores espessuras de material depositado, figura 5.15. Destacam-se os testemunhos verticais n.º 40 e 41, com a camada correspondente ao pós enchimento, composta por sedimentos pelíticos, com aproximadamente 17 e 23 cm de espessura, respectivamente. Testemunhos com coloração marrom amarelado apresentam características do regolito, do talude exposto em processo erosivo sem cobertura vegetal nas margens do reservatório.

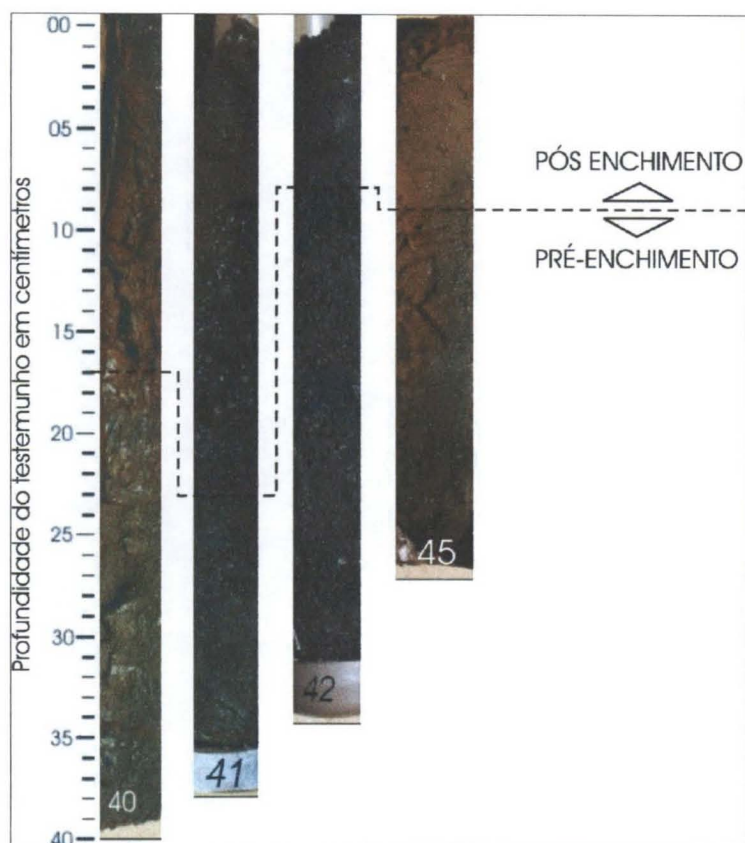


Figura 5.15 - Perfil característico dos testemunhos verticais coletados nos pontos nº 40, 41, 42 e 45, localizados em pontos próximos a taludes expostos ao longo das margens do reservatório.

Os testemunhos verticais n.º 16 e 17 foram coletados próximos a canal de tributário, são compostos por sedimentos pelíticos, apresentam areia média e grossa e restos vegetais, figura 5.16. O testemunho n.º 16 apresenta maior quantidade de matéria orgânica (com muitos restos vegetais preservados) e se situa mais próximo à nascente do tributário.

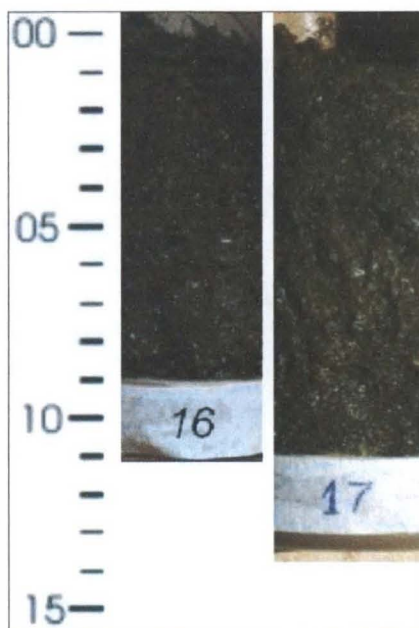


Figura 5.16 - Perfil característico dos testemunhos verticais coletados nos pontos nº 16 e 17, localizados em pontos próximos a contribuição de tributários.



### 5.3 CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL INCONSOLIDADO DO FUNDO

Os sedimentos do fundo, amostrados com *box corer*, foram analisados em laboratório pelo método de pipetagem e peneiramento, para a determinação de sua composição granulométrica. Com base nos resultados, foram calculados parâmetros texturais de Folk e Ward (1957), com uso do software Sysgran 2.4, desenvolvido por Camargo (1999).

As diferentes composições granulométricas encontradas indicam diferentes comportamentos na dinâmica da sedimentação ao longo do reservatório (Apêndice 4.1). O material sedimentar superficial encontrado nas amostras, constituídos com muita matéria orgânica (com muitos restos vegetais preservados) compostos por sedimentos pelíticos, de argila a areia. Pequenas frações de grânulos encontradas nas amostras devem estar associadas à material inconsolidado das encostas e margens do reservatório.

De acordo com a escala qualitativa sugerida por Folk e Ward (1957), o grau de seleção ( $\sigma_1$ ) dos sedimentos do fundo do reservatório, encontram-se assim distribuídos: 66% das amostras apresentam valores de dispersão ( $\sigma_1$ ) variando entre 2,004 e 3,070, classificadas como muito pobremente selecionadas, e 32% das amostras com valores de  $\sigma_1$  variando entre 1,323 e 1,933, indicando serem pobremente selecionadas, e 2% das amostras com  $\sigma_1$  igual a 0,322 classificadas como muito bem selecionadas, figura 5.17.

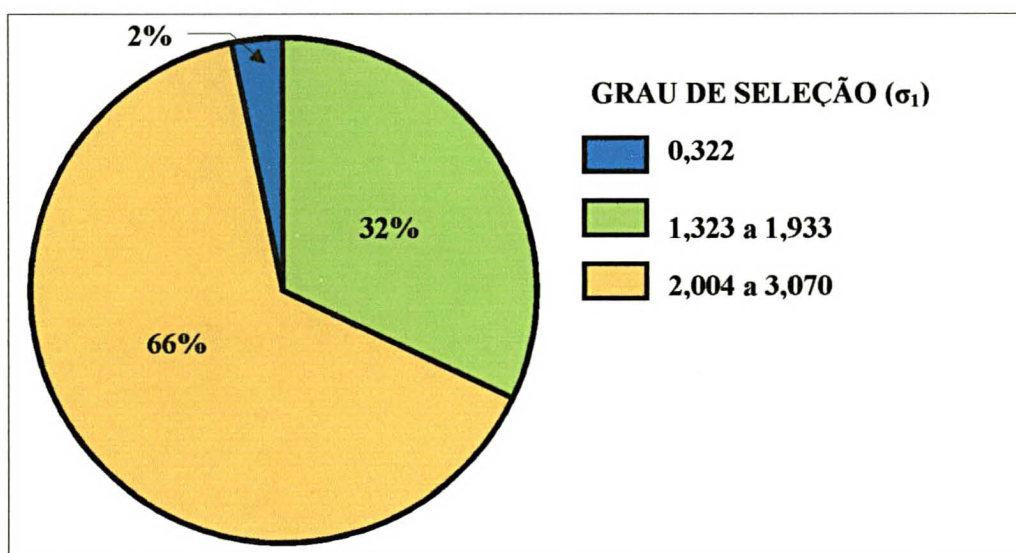


Figura 5.17 – Gráfico do resultado das análises granulométricas, de acordo com a escala qualitativa sugerida por Folk e Ward (1957), para a descrição do grau de seleção ( $\sigma_1$ ) das 44 amostras do material inconsolidado coletado do fundo do reservatório.

Os valores de assimetria obtidos para os sedimentos do fundo do reservatório estão compreendidos entre -0,7694 e +0,564, indicando grande variedade na composição do material das amostras, resultando 38% das amostras com assimetria muito negativa, 20% das amostras com assimetria negativa, 7% das amostras com assimetria aproximadamente simétrica, 16% das amostras com assimetria positiva e 19% das amostras com assimetria muito positiva.

A distribuição em área dos valores de parâmetros granulométricos foi analisada com métodos de geoestatística (krigagem), com aplicação do software Surfer 7. Para tanto, foi utilizado 500 metros como raio de pesquisa (Fig. 5.18).

Observou-se que o diâmetro médio das partículas tende a aumentar em direção às margens do reservatório e as desembocaduras dos tributários principais, sobretudo aqueles que drenam áreas de maior produção de material associadas diretamente a ação antrópica, com expansão da malha urbana (Foto 5.7) e áreas de desmatamento e de agricultura (Foto 5.8).

Os resultados das análises granulométricas foram apresentados na forma de curvas acumulativas de frequência de classes e em diagramas de Shepard (1954). Assim ficou mais fácil sua visualização individual e a comparação dos dados. Para facilitar a interpretação das curvas associadas pelo software Sysgran 2.4 (Camargo 1999) apresenta-se no quadro 5.2, convenção gráfica com a mesma sequência em que as curvas aparecem nos gráficos associados.

Quadro 5.2 – Convenção gráfica para interpretação das curvas de frequência acumulada.

1° ■ PRETO	6° ■ VERDE
2° ● AZUL	7° ● VERMELHO
3° ▲ AMARELO	8° ▼ AZUL
4° + VERMELHO	9° + AMARELO
5° ✱ AMARELO	10° ✱ PRETO

a) Associação das amostras por similaridade na granulometria

As amostras n.º 13, 13F, 20, 26, 32, 34 e 38, figura 5.19, caracterizam-se por apresentarem granulação mais grossa. Material essencialmente arenoso.

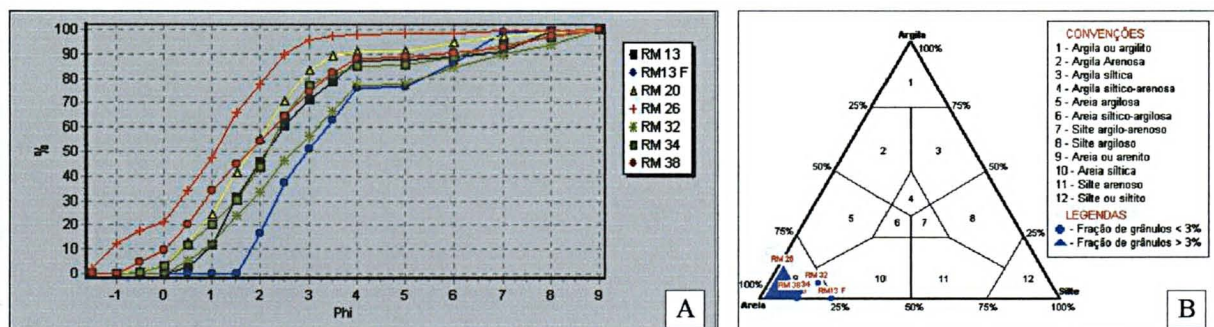


Figura 5.19 – Representação gráfica da composição granulométrica das amostras coletadas do fundo do reservatório n.º 13, 13F, 20, 26, 32, 34 e 38: A) Curvas de frequência acumulada, B) Diagrama de Shepard (1954).

As amostras do fundo n.º 4, 5, 17, 18, 23, 31, 35, 37 e 41, figura 5.20, apresentaram granulometria grossa. São sedimentos essencialmente arenosiltosos.



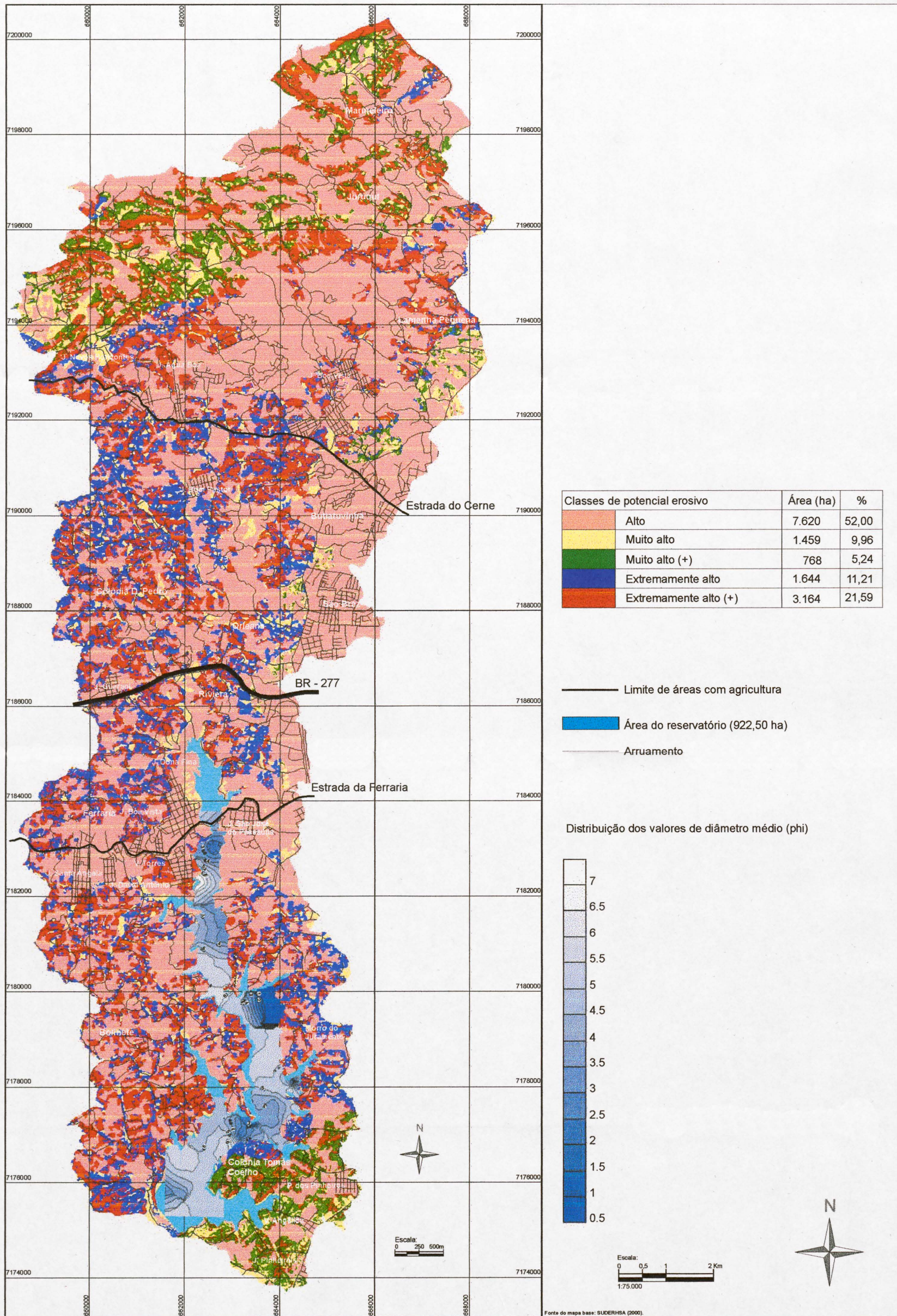


Figura 5.18 - Classes de potencial erosivo através da Equação Universal de Perdas de Solo - USLE do ano 2000, para bacia hidrográfica do Passaúna e mapa da distribuição granulométrica com os valores de diâmetro médio (phi) das 44 amostras coletadas na área do reservatório.



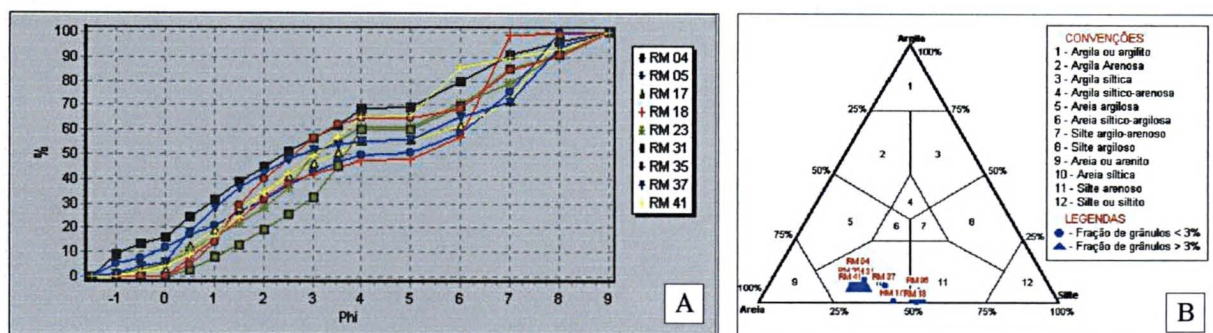


Figura 5.20 – Representação gráfica da composição granulométrica das amostras coletadas do fundo do reservatório n.º 4, 5, 17, 18, 23, 31, 35, 37 e 41: A) Curvas de frequência acumulada, B) Diagrama de Shepard (1954).

As amostras de fundo n.º 10, 11, 12, 15, 22, 29, 30 e 45, figura 5.21, são sedimentos essencialmente siltoarenosos. Caracterizaram-se pela maior predominância de silte.

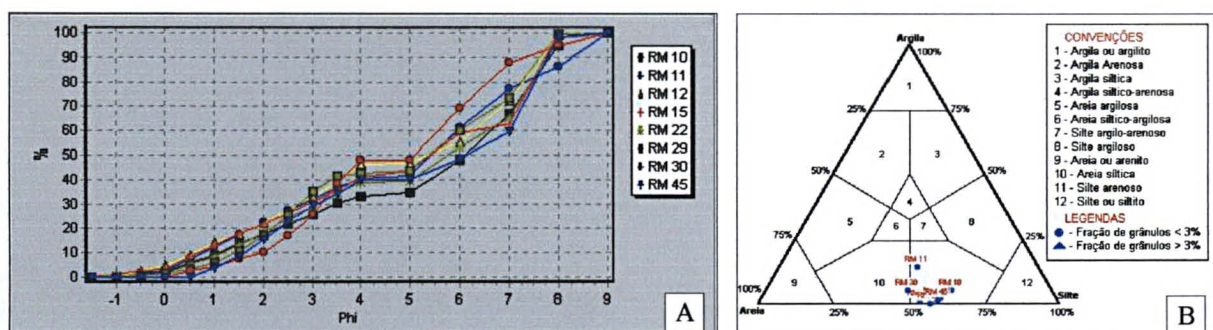


Figura 5.21 – Representação gráfica da composição granulométrica das amostras coletadas do fundo do reservatório n.º 10, 11, 12, 15, 22, 29, 30 e 45: A) Curvas de frequência acumulada, B) Diagrama de Shepard (1954).

As amostras n.º 1, 16, 27, 28, 36 e 44, figura 5.22, caracterizam-se por apresentarem maior quantidade de grãos finos. Esses sedimentos são essencialmente siltoarenosos.

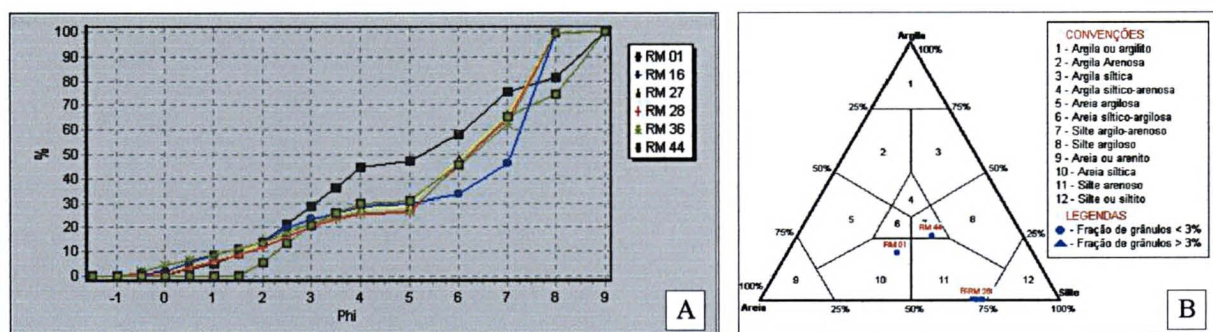


Figura 5.22– Representação gráfica da composição granulométrica das amostras coletadas do fundo do reservatório n.º 1, 16, 27, 28, 36 e 44: A) Curvas de frequência acumulada, B) Diagrama de Shepard (1954).

As amostras n.º 2, 6, 8, 9, 14, 19, 21, 24, 42 e 43, figura 5.23, caracterizam-se como siltes.



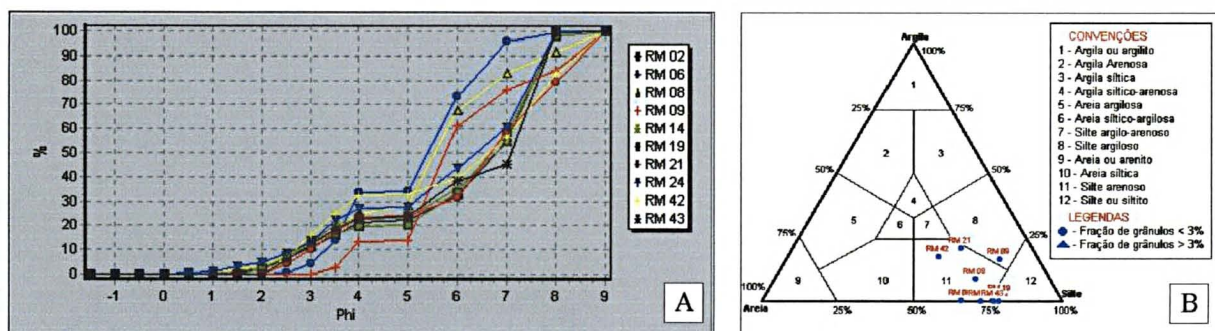


Figura 5.23— Representação gráfica da composição granulométrica das amostras coletadas do fundo do reservatório n.º 2, 6, 8, 9, 14, 19, 21, 24, 42 e 43: A) Curvas de frequência acumulada, B) Diagrama de Shepard (1954).

As amostras n.º 7, 33 e 39, figura 5.24, possuem características anômalas.

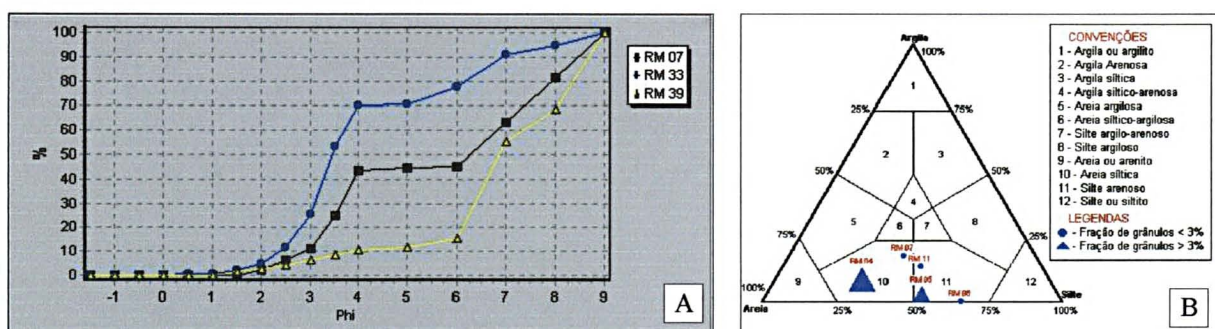


Figura 5.24— Representação gráfica da composição granulométrica das amostras coletadas do fundo do reservatório n.º 7, 33 e 39: A) Curvas de frequência acumulada, B) Diagrama de Shepard (1954).

b) Associação das amostras pela localização no reservatório

As amostras n.º 4, 5, 6, 7 e 11, figura 5.25, caracterizam-se por estar localizadas próximas a área de empréstimo de material da obra da barragem.

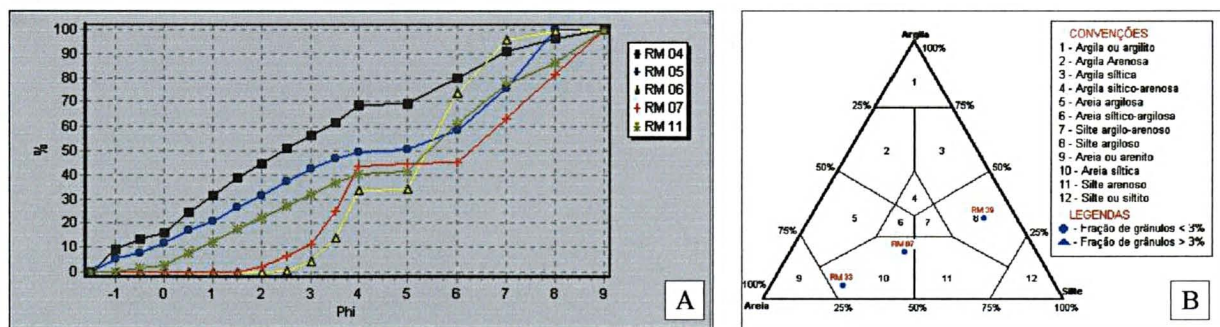


Figura 5.25— Representação gráfica da composição granulométrica das amostras coletadas do fundo do reservatório n.º 4, 5, 6, 7 e 11: A) Curvas de frequência acumulada, B) Diagrama de Shepard (1954).

As amostras n.º 8, 9, 10, 14, 28, 33, 39 e 43, figura 5.26, caracterizam-se por estarem localizadas em área mais interna do reservatório.



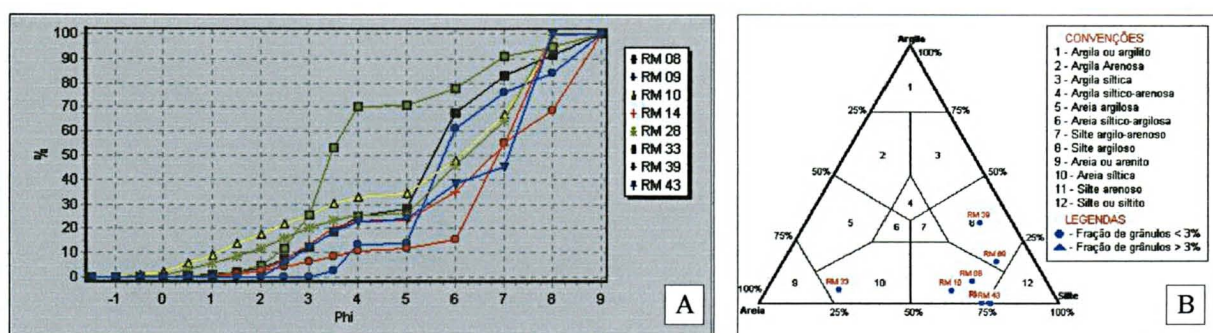


Figura 5.26— Representação gráfica da composição granulométrica das amostras coletadas do fundo do reservatório n.º 8, 9, 10, 14, 28, 33, 39 e 43: A) Curvas de frequência acumulada, B) Diagrama de Shepard (1954).

As amostras n.º 12, 15, 23, 26, 27 e 30, figura 5.27, estão localizadas em áreas de deságüe dos maiores tributários ao reservatório.

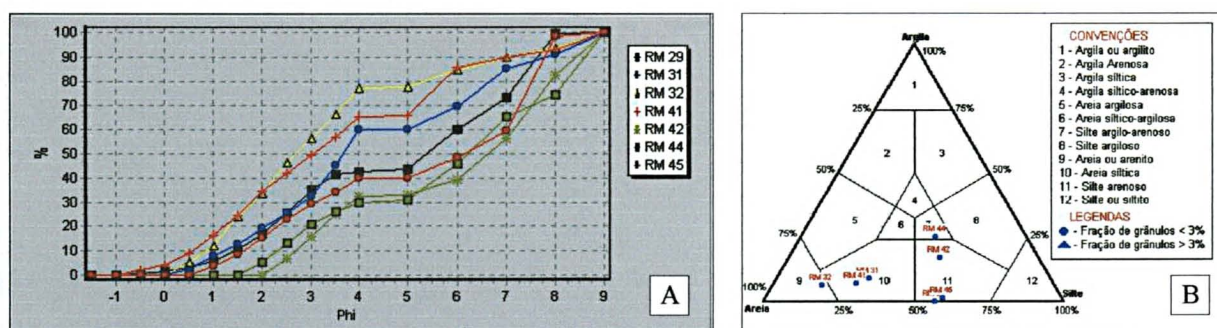


Figura 5.27— Representação gráfica da composição granulométrica das amostras coletadas do fundo do reservatório n.º 12, 15, 23, 26, 27 e 30: A) Curvas de frequência acumulada, B) Diagrama de Shepard (1954).

As amostras n.º 29, 31, 32, 41, 42, 44 e 45, figura 5.28, estão localizadas próximas aos taludes das margens do reservatório.

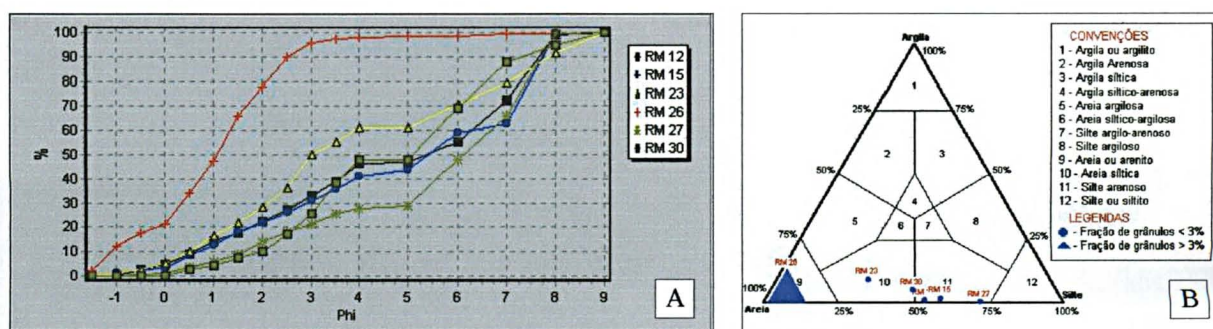


Figura 5.28— Representação gráfica da composição granulométrica das amostras coletadas do fundo do reservatório n.º 29, 31, 32, 41, 42, 44 e 45: A) Curvas de frequência acumulada, B) Diagrama de Shepard (1954).

As amostras n.º 18, 19, 20, 21 e 22, figura 5.29, estão localizadas no tributário que recebe o deságüe da sub-bacia que contempla o loteamento Morro do Juramento.



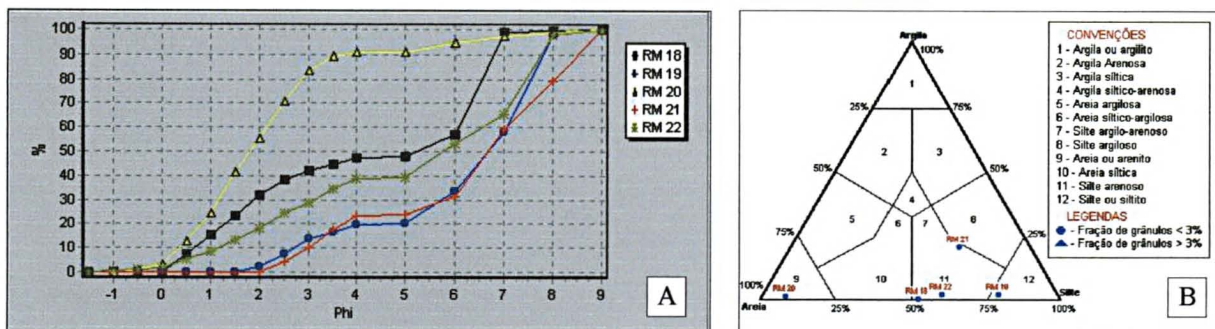


Figura 5.29— Representação gráfica da composição granulométrica das amostras coletadas do fundo do reservatório n.º 18, 19, 20, 21 e 22: A) Curvas de frequência acumulada, B) Diagrama de Shepard (1954).

As amostras n.º 16 e 17, figura 5.30, estão localizadas no tributário que recebe o deságüe da sub-bacia próxima a captação da SANEPAR.

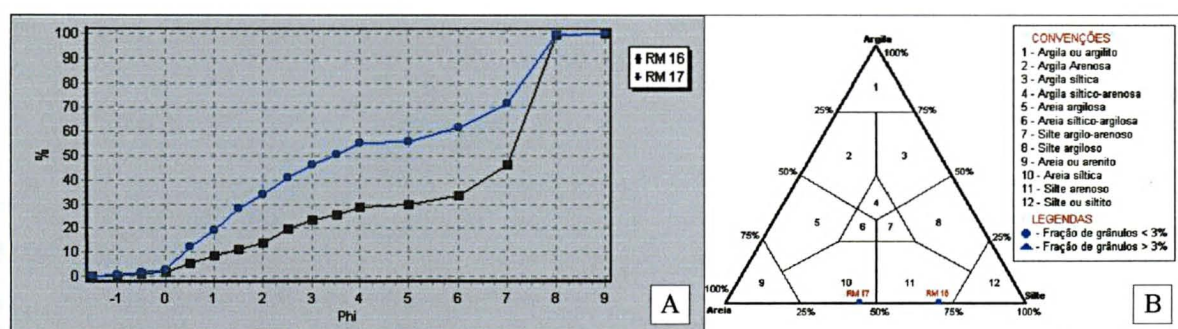


Figura 5.30— Representação gráfica da composição granulométrica das amostras coletadas do fundo do reservatório n.º 16 e 17: A) Curvas de frequência acumulada, B) Diagrama de Shepard (1954).

#### 5.4 FONTES CONTRIBUINTES NA PRODUÇÃO DE MATERIAL SEDIMENTAR

Visando compreender a procedência dos sedimentos acumulados no fundo do reservatório foram confrontados os resultados da avaliação qualitativa de potencial de perdas de solos por erosão com a distribuição e características dos sedimentos do fundo do lago. Utilizaram-se os relatórios existentes sobre zoneamento, ocupação e uso do solo da APA do Passaúna (COBRAPE 2000) e foram realizados levantamentos em campo da situação atual.

Observa-se que na região há diversos tipos de uso do solo que constituem um mosaico geoambiental complexo com características físicas e sócio-econômica-ambientais muitas vezes contíguas, em região frágil do ponto de vista ambiental, e observadas na definição das classes de potencial erosivo (Fig. 5.5).

Destes levantamentos, pode-se observar que a partir de Santa Felicidade em direção a estrada do Juruqui, os usos urbanos (Figura 3.5) são poucos, e nos terrenos com declividades acentuadas da porção norte da bacia hidrográfica ocorrem a silvicultura (bracatinga) e a atividade agrícola de pequena e média escalas. Nos terrenos com declividades acentuadas e em alguns trechos de fundos de vales concentram-se as áreas agrosilvicultural de bracatinga e observa-se a ocorrência de algumas manchas de floresta com araucaria angustifolia. Na medida em que se adentra em direção a noroeste-oeste, as declividades vão se suavizando e a agricultura se faz mais presente, com uso de mecanização. Ocorre especialmente o cultivo de batatinha, outras espécies de subsistência e um pouco

de olericultura (legumes). Não se observou criação intensiva de animais. Na estrada do Cerne, se dirigindo para a direção leste a paisagem muda a partir do espigão divisório das bacias do rio Verde e do Passaúna, a urbanização se faz mais intensa e a vegetação apresenta maior degradação, e há importante tendência à novas ocupações. Comparando com a situação em 1991 (COMEC 1995) observa-se que o processo de expansão dessas ocupações cresce, utiliza as franjas dos loteamentos regulares, com desmatamento e construções de pequenas habitações, que avançam sobre terrenos com altas declividades (COBRAPE 2000). Toda água servida e lixo escoam diretamente ao rio Passaúna e seus afluentes.

Os loteamentos existentes próximos às estradas do Cerne e Ferraria são de média densidade e estão implantados em terrenos com declividades menos acentuadas. Vizinho ao rio Passaúna, a sul da rodovia, no lado leste observou-se um empreendimento com movimentos de terra, cortes no terreno e aterramento nas vizinhanças do rio. Ao longo da estrada da Ferraria estão assentados diversos loteamentos que possuem problemas de implantações inadequadas, sem respeito à declividades acentuadas, fundos de vales e várzeas inundáveis (Foto 5.15).



Foto 5.15 – Vista panorâmica de ocupação urbana inserida em área com vegetação natural. Loteamento Jardim Ipoméia, no município de Campo Largo, localizado na margem direita do reservatório, próximo a ponto de coleta n.º 39, com vistas ao fundo avista-se o reservatório e o loteamento São José do Passaúna no município de Curitiba.

O loteamento São José do Passaúna é o único na bacia hidrográfica que é atendido por rede de esgoto. Possui problemas de drenagem das águas pluviais com lançamento direto no reservatório. Abriga uma ocupação irregular de porte significativo, junto a um riacho próximo ao reservatório e encontra-se em péssimas condições de saneamento e limpeza (Foto 5.1). Na região de Campo Largo, existem diversas ocupações irregulares (Figura 3.5) e os loteamentos tem implantação inadequada no que se refere às declividades do terreno (Foto 5.16) e a proteção de córregos e fundos de vales (Foto 5.17).



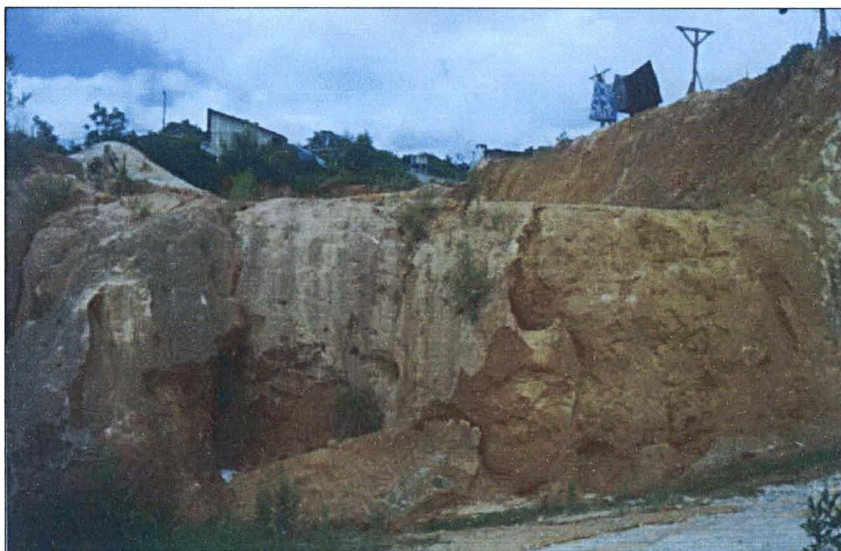


Foto 5.16 – Talude exposto com processo erosivo em curso, em declividade acentuada, no Jardim Dona Fina, no município de Campo Largo. Margem direita do reservatório, próximo ao ponto de coleta n.º 36.



Foto 5.17 – Visão panorâmica de ocupação urbana, em área com baixa declividade, junto ao lago. Loteamento Jardim Dona Fina, no município de Campo Largo, localizado na margem direita do reservatório, próximo a ponto de coleta n.º 36. Ao fundo avista-se o reservatório, a ponte sobre o rio Passaúna na estrada da Ferraria e o loteamento São José Passaúna, no município de Curitiba.

Algumas ruas encontram-se pavimentadas (pelos métodos tradicionais) sem cuidados especiais no que se refere a drenagem. Como se sabe, o aumento das taxas de impermeabilização do solo pode aumentar em muito a poluição e o assoreamento do reservatório. A foto 5.18 apresenta processo erosivo atuante sobre a pavimentação com revestimento em asfalto, com material depositado na parte baixa, sendo carreado para o reservatório.

Carvalho (1991) em estudos sobre a erosão comenta que os fenômenos que intervêm na produção de sedimentos são diversos. Que a ação humana é um fenômeno modificador de condições normais. As construções de estradas, obras de terraplanagem, terrenos descobertos para agricultura, desmatamentos para aproveitamento econômico das florestas, construções de obras fluviais, e outros, permitem a maior desagregação dos sólidos e o maior transporte até os cursos d'água.

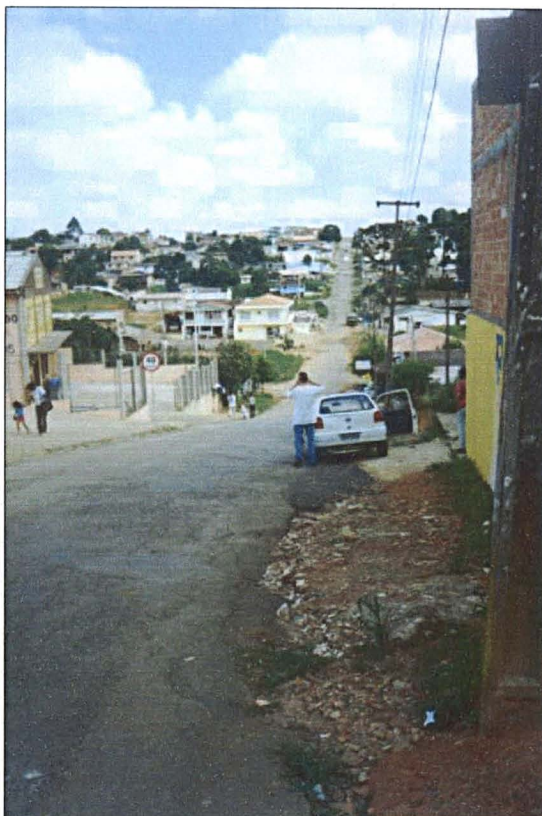


Foto 5.18 – Rua principal do loteamento Vila Gilcy, no município de Campo Largo, localizado na margem direita do reservatório, próximo a ponto de coleta n.º 37, com material depositado na parte baixa da rua, sendo carreado para o reservatório.

No zoneamento da CIC encontra-se áreas em território da bacia hidrográfica onde pode-se observar a existência de várias indústrias (Foto 5.19) e serviços de grande e médio porte, inclusive um posto de gasolina.



Foto 5.19 – Área preparada para construção de indústria, com talude exposto, na rua Ludovico Kaminski esquina com rua Abraham Leiser Stier, no município de Curitiba, localizado na margem esquerda do reservatório, próximo a ponto de coleta n.º 41.



A oeste do Contorno Sul observa-se grande adensamento urbano. Com loteamentos, como a Vila Esperança de Cruzeiro do Sul e ocupações irregulares como o Morro do Juramento. Que ocupa a encosta da bacia e se estende até um afluente próximo à represa, encontra-se em precárias condições de infra-estrutura. Não possui rede de esgotos domésticos, nem drenagem das águas pluviais. Grande quantidade de lixo e solo erodido tem como destino o reservatório.

Das áreas de empréstimo de material para execução da barragem, apenas uma (lado leste da barragem) encontra-se paisagisticamente tratada, com plantio de vegetação e parque de lazer. As outras (lado oeste) encontram-se expostas, com o material assoreando o reservatório (Foto 5.11). Os taludes das estradas vicinais que contornam a barragem e se conectam com os acessos do setor oeste do reservatório encontram-se em solo sem recobrimento vegetal. O entorno do reservatório, em diversos pontos, encontra-se descoberto (sem vegetação), provocando erosões e assoreamentos (Fig. 4.9 - Fotos 1 a 5, 9, 15, 17 e 18).

A paisagem se modifica profundamente no setor oeste do reservatório, no trecho entre a barragem e a Ferraria, tornando-se eminentemente rural, com pequenas propriedades entremeadas por capões de mata. O manuseio da terra apresenta-se adequado em alguns locais (com plantio em curvas de níveis) e em outros não. Existe um empreendimento para treinamento de hipismo (Foto 5.13). Localizado nas áreas lindeiras ao reservatório, observou-se apenas um loteamento de chácaras de lazer. A área foi desmatada para receber os lotes e arruamentos e verifica-se a construção de edificação junto à área de proteção do reservatório.

Os solos removidos pela erosão e transportados até o canal principal da bacia hidrográfica dão origem ao material de assoreamento do fundo do reservatório, com contribuição do material superficial existente nestas áreas ocupadas pelo adensamento urbano, pelo lançamento concentrado da drenagem superficial da água de chuva e pelo esgoto sanitário não coletado e tratado no local.

A influência da ocupação antrópica considerada neste estudo como áreas de procedência de material sedimentar produzido pela erosão, foi ponderada com base na avaliação da ocupação atual, ano 2000, da bacia hidrográfica e pôde-se observar a influência na granulométrica do material depositado no fundo do reservatório (Fig. 5.18). O posicionamento das fontes esta diretamente relacionado às áreas de surgimento de material inconsolidado com maior granulometria no reservatório, e tem maior incidência nas áreas próximas às caracterizadas como fontes contribuintes de material sedimentar, isto é, com maior ocupação urbana.

## 6. DISCUSSÃO

A bacia hidrográfica do reservatório do rio Passaúna está localizada no Primeiro Planalto ou Planalto de Curitiba, em substrato geológico do Complexo Atuba, Grupo Açungui, diques de diabásio, Formação Guabirota e aluviões. O relevo dominante é o forte ondulado, seguido pelo ondulado, suave ondulado e plano. O clima é o mesotérmico úmido. A distribuição pluviométrica anual é variável, tendo-se definido a média mensal plurianual de 133,06 mm. Observaram-se picos máximos nos meses de janeiro e fevereiro, e picos mínimos nos meses de abril e agosto. A irregularidade dessa distribuição, ante os processos erosivos, deve ser observada quando ocorrem precipitações intensas nos meses de março a junho, período após a colheita e preparo para o próximo replantio nas áreas de agricultura. O planejamento de intervenções no solo deve prever a irregularidade na distribuição dos eventos pluviométricos e principalmente a recorrência de episódios anômalos, neste caso mais problemáticos no período das chuvas e importantes, se coincidentes com o solo exposto e arado, como se denota do mês de março e setembro de 1988 com precipitação de 265,3 mm e 379,8 mm, respectivamente (Anexo 3.2). As chuvas e períodos críticos são os responsáveis pela maior parte do sedimento produzido nas encostas.

### 6.1 QUANTO AO POTENCIAL EROSIVO DA BACIA HIDROGRÁFICA

A interação clima, substrato geológico, relevo e tempo permitiu o desenvolvimento dos solos podzólico vermelho-amarelo álico Tb associado à podzólico vermelho-amarelo álico (PVa21-45,34%), latossolo vermelho-amarelo álico associado à cambissolo álico Tb (LVa12-5,00% e LVa13-17,99%), latossolo vermelho-amarelo álico (LVa6-6,04%), hidromórficos gleyzados (HG2-13,69%), cambissolo álico Tb (Ca5), latossolo vermelho escuro distrófico A (LEd3-0,58%), cambissolo álico Tb associado à litófico distrófico (Ca37-0,24%). As condições climáticas propiciaram o surgimento da flora diversificada, sendo a primeira composta pela floresta ombrófila mista (floresta com araucária angustifolia) ocupando áreas da geologia mais antiga e da estepe gramíneo-lenhosa (campos) que aparece nas áreas aluviais mais recentes no vale do rio Passaúna.

A ocupação da área da bacia hidrográfica iniciou-se em 1876, no município de Araucária, a partir da fundação da Colônia Tomás Coelho. Com a implantação da barragem, a partir de 1985, ocorreram alterações significativas no processo geográfico.

O desenvolvimento da região e uso do solo levou praticamente à erradicação das florestas. As florestas contribuem para a manutenção da qualidade do meio ambiente, não somente através de sua influência sobre fatores climáticos, mas principalmente, mediante controle quase total da erosão (Wischmeier e Smith 1978, Bertoni e Lombardi Neto 1985, McNeil in Silva et al. 1993).

Atualmente a vegetação natural mais expressiva é caracterizada por pequenas áreas de floresta aluvial (mata ciliar) e capoeirão, que representa apenas 5,53% da área da bacia hidrográfica. A



cobertura vegetal pouco desenvolvida ocasiona forte escoamento superficial e conseqüentemente denudação rápida do terreno, com fornecimento de muitos detritos para os sistemas fluviais (Sugio e Bigarella 1979).

Observam-se pastagens ou áreas agrícolas substituindo florestas ou campos naturais, tornando-se cada vez mais a vegetação predominante na área estudada. A partir da comparação do uso e ocupação do solo dos anos 2000 e 1991, figuras 5.3 e 5.4, tem-se incremento em torno de 13% para a área com alteração no uso e ocupação, e redução da ordem de 6% nas áreas de preservação e vegetações arbóreas. Não se observou criação intensiva de animais. Observa-se que o processo de expansão das áreas urbanizadas utiliza as franjas dos loteamentos regulares, com desmatamento e construções de pequenas habitações, que avançam sobre terrenos com altas declividades. Em muitas áreas as águas servidas, drenagem e lixo escoam diretamente ao rio Passaúna e seus afluentes. O loteamento São José do Passaúna é o único na bacia hidrográfica que tem esgoto coletado e revertido para outra bacia hidrográfica. Resumiu-se estas alterações na tabela 6.1.

Tabela 6.1 – Alteração no processo de ocupação e uso do solo na área da bacia hidrográfica entre os anos 1991 e 2000.

Ocupação e uso do solo	Área de ocupação (%)	
	Ano 1991	Ano 2000
Agricultura + pastagem + cultura permanente + desmatamento	35,91	49,02
Floresta aluvial + secundária + campo + reflorestamento + várzea	48,64	42,41

As atividades desenvolvidas na bacia hidrográfica são essencialmente agrícolas, predominando as lavouras com tração animal e manual, em seguida estão as pastagens e lavouras mecanizadas. As culturas mais comuns são as de batata, milho, tomate, feijão e legumes.

Na avaliação do potencial erosivo, os procedimentos metodológicos levaram à montagem de um mapa para a bacia hidrográfica consubstanciado pela caracterização do clima, geologia, geomorfologia, pedologia, uso e ocupação do solo, fatores que sucessivamente integrados possibilitaram discriminar as áreas com diferentes classes de potenciais erosivos através da equação Universal de Perdas de Solo – USLE, com a qualificação pela erosão laminar e a indicação das áreas críticas. Por esse método, as camadas delgadas de solo são removidas, aparentemente de forma uniforme de todas as áreas. A grande maioria dos solos assim removidos não chega diretamente ao reservatório, mas vão gradativamente sendo removidos para as partes mais baixas das encostas até as bacias de contribuição e dos afluentes ao reservatório. Foram definidos valores relativos, utilizados para estabelecer faixas que indicam áreas com maior ou menor potencialidade erosiva (Fig. 5.5 e 5.6). Foram identificadas áreas da bacia hidrográfica, 32,8% com potencial erosivo extremamente alto, consideradas mais críticas ao processo. Observa-se no mapa de potenciais erosivos (Fig. 5.5) associado ao mapa de solos (Fig. 3.3) e ao mapa de uso e ocupação (Fig. 5.3), representados na figura 6.1, para o ano 2000, que as áreas caracterizadas como mais críticas estão principalmente relacionadas



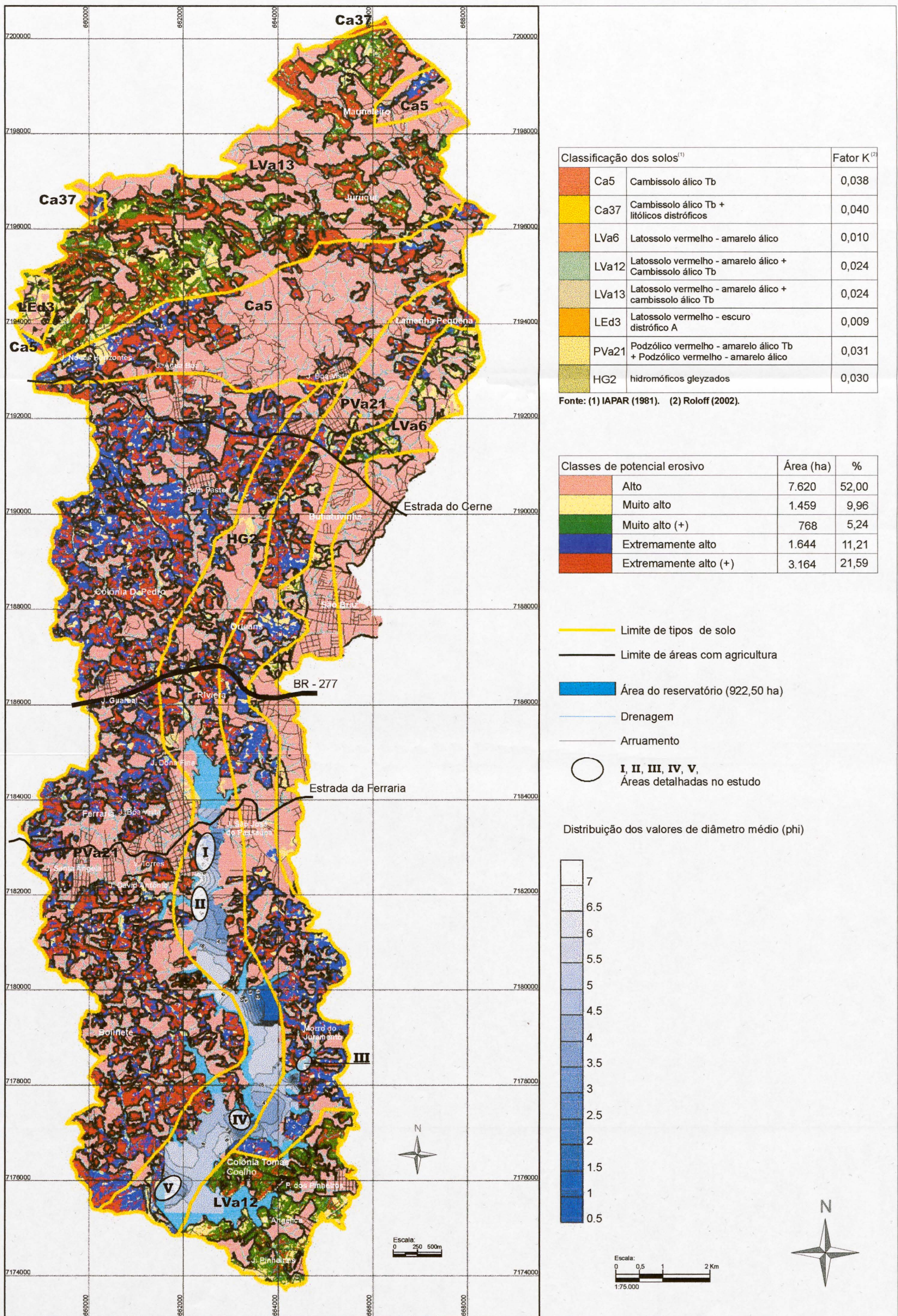


Figura 6.1 - Associação do potencial erosivo obtido através da USLE, com o tipo de solo e com o uso e ocupação, para a bacia hidrográfica do reservatório Passaúna, do ano 2000.



ao tipo de solo da região e ao uso e ocupação desse solo.

As áreas mais críticas, com índice extremamente alto, têm maior ocorrência, nas áreas com solos constituídos de perfis mais imaturos. Estes solos ocupam 52,70% da área da bacia hidrográfica. São compostos pela associação dos podzólicos vermelho-amarelo álico Tb com podzólico vermelho-amarelo álico (PVa21), cambissolo álico e litóficos distróficos (Ca37) e cambissolo álico Tb (Ca5), com ocupação por agricultura. Nas áreas com esses mesmos solos e ocupadas com vegetação arbórea, campo e reflorestamento ocorrem classes com menores potenciais erosivos e se caracterizam como áreas menos críticas ao processo erosivo.

Nas áreas de solos com horizontes mais evoluídos, representados por latossolo vermelho-escuro distrófico A (LEd3) e latossolo vermelho-amarelo álico (LVa6), ocorrem com maior incidência índices de potencial muito alto para as áreas com agricultura, e o índice de potencial alto para as áreas com vegetação arbórea.

Nas áreas de ocorrência de associações de latossolo vermelho-amarelo álico e cambissolo álico Tb (LVa12 e LVa13) há predominância da classe de potencial alto para as áreas de vegetação arbórea. E, ocorrem áreas de potencial muito alto intercaladas a pequenas áreas de potencial extremamente alto, nas áreas ocupadas por agricultura.

Em áreas com solos constituídos de perfis mais imaturos (fator natural), observa-se que a bacia hidrográfica do reservatório teve crescimento no processo erosivo em decorrência do uso e ocupação do solo, com aumento da área de agricultura e retirada de vegetação (ações antrópicas), que provocou mudanças no comportamento hídrico da região, incrementando o transporte de material ao reservatório.

No período 1991-2000 o potencial erosivo da bacia hidrográfica aumentou em torno de 10 pontos percentuais para as classes de potencial erosivo extremamente alto, com conseqüente redução na conservação e preservação do solo.

Ao comparar o mapa de potencial erosivo (Fig. 5.5), que apresenta áreas da bacia hidrográfica consideradas mais críticas junto as margens do reservatório, com os gráficos resultantes da associação das amostras por similaridade na granulometria (Fig. 5.19 a 5.24), através das curvas de frequência acumulada, conclui-se que há contribuição de material inconsolidado em todo o reservatório, e confirmado pelo mal selecionamento das amostras, conforme resultados da análise granulométrica (Fig. 5.17).

## 6.2 QUANTO ÀS ÁREAS-FONTE DE CONTRIBUIÇÃO

Observou-se, neste estudo, que as ações antrópicas na área da bacia hidrográfica geram problemas na conservação e preservação do solo, com a produção de sedimentos, constatados na área urbana, industrial e rural. Material este transportado até o reservatório pelos cursos d'água, devido principalmente à erosão do solo superficial.

Na área da bacia hidrográfica a produção de sedimentos é provocada:

- a) Pelo desmatamento das encostas, que atinge as matas ribeirinhas e fundos de vales; aragem do solo, mais ainda quando no sentido da declividade do terreno e para lavouras de ciclo curto, em rotação (batata, milho, feijão, intercalado com hortaliças e pequenas pastagens), atividades que provocam erosão entre sulcos (laminar), tendo como consequência a perda do solo superficial enriquecido em adubos e defensivos agrícolas que é carregado para as drenagens locais, assoreando-as e poluindo as águas dos afluentes do reservatório. Pela floresta degradada resultada de pequenos e sucessivos desmatamentos, com devastação pontual ou de grande potencial paisagístico como ocorreu na área de hipismo (Foto 5.13) e de lazer (pesque-pague – Foto 5.8);
- b) Pelo plantio muito próximo às margens do reservatório (Fig. 5.4), sem adoção de práticas conservacionistas, provocando erosão e carregamento de sedimentos e poluentes agrícolas para o reservatório;
- c) Pela formação de pastagens em áreas muito declivosas de solos rasos e pobres, que se compactam e impermeabilizam muito quando pisoteados pelo gado, iniciam o que favorece o desenvolvimento de erosão entre sulcos (laminar);
- d) Destruição total da vegetação arbórea, inclusive de topos de morros e fundos de drenagens (Foto 5.3), propiciando o aumento do escoamento superficial, favorecendo a formação de fortes enxurradas, diminuindo a infiltração da água no sub-solo;
- e) Pelo abandono de áreas cultivadas e abertura de novas áreas para plantio utilizando-se de queimadas, ameaça aos pequenos bolsões de floresta nativa que ainda se preservam em meio às áreas de reflorestamento;
- f) Pelas áreas de empréstimo às obras da barragem Passaúna, localizadas na margem direita próximo à barragem, abandonadas sem reposição florestal (Foto 5.11), contribui à erosão e carregamento de sedimentos para o reservatório, resultando no seu assoreamento e turbidez de suas águas. Observaram-se processos de erosão entre sulcos, movimentação de grande volume de terra nos serviços de terraplenagens com destruição da vegetação natural (Foto 5.19);
- g) Pelo aplainamento de grandes áreas e remoção total do solo superficial rico em matéria orgânica; i) Por leito de estradas sem revestimento e sem obras de canalização das águas pluviais, ausência de revegetação e de obras de contenção de encostas nos taludes de corte (Foto 4.5), ausência de pavimentação. Provocam erosão em sulcos nas margens e nos leitos das estradas;



h) Pela abertura de loteamentos, segundo modelo quadriculado (Foto 4.6), com traçado de arruamentos cortando abruptamente as linhas de fortes declives, com remoção de todo o solo superficial, expondo sedimentos altamente erosivos e impermeáveis, destruição da vegetação e soterramento dos canais naturais de drenagens, diminuição da infiltração da chuva no subsolo, impermeabilização excessiva dos terrenos. Provocam aumento do escoamento superficial nas áreas altas, favorecem a formação de enxurradas fortes e com alto poder erosivo, desencadeamento de processo erosivo evoluindo para erosão em sulcos, com carreamento de sedimentos para os afluentes e o reservatório;

i) Pelos loteamentos implantados em áreas permanentemente alagadas sem saneamento básico (esgoto, pavimentação de ruas, obras de drenagem superficial), abertura de valas, para lançamento in natura do esgoto doméstico no sistema de drenagem local ou no leito das ruas sem pavimentação. Favorecimento da formação de sulcos de erosão nas margens das ruas com escoamento para o reservatório, contaminação do aquífero freático, mau cheiro e proliferação de organismos transmissores de doenças, malhas viárias escorregadias e com atoleiros (Fig.4.9 – Foto 7). Pela implantação de posto de gasolina, depósito de sucatas e outras fontes potencialmente poluidoras sobre áreas sem medidas técnicas para impedir o vazamento de substâncias poluidoras. Área de aterro sanitário e lixo abandonado, sem medidas de monitoramento.

De maneira geral as condições urbanísticas existentes no ano de 1991, na área da bacia hidrográfica, degeneraram para situações mais críticas, com o aumento das ocupações e condições deficitárias da infra-estrutura de saneamento urbano. A análise através de mapas georreferenciados permitiu visualizar as variações espaciais e temporais de uso e ocupação na área da bacia hidrográfica e a localização das áreas-fonte de contribuição. Os valores obtidos através da aplicação da USLE, neste estudo, não avaliaram a contribuição gerada pelas áreas com urbanização, que corresponde à 8,57% da área da bacia hidrográfica para o ano 2000, por não ser objetivo deste estudo a definição do fator CP específico para este tipo de ocupação e uso do solo. Campagnoli (2002) destaca a importância das ocupações urbanas em estudo de assoreamento na definição de geoindicadores ambientais.

A pressão à novas ocupações (habitações/serviços/indústrias), face a proximidade de Curitiba, torna essas áreas críticas no sentido de garantir o balanceamento adequado entre a conservação ambiental e a ocupação do território.

As ocupações existentes exigem soluções que passem a ser implantadas para toda a área da bacia hidrográfica. Soluções que sejam eficientes e justifiquem o investimento público, resultando na ampliação da vida útil do reservatório e na qualidade de vida da população beneficiada com a água deste reservatório.

### 6.3 QUANTO AO ASSOREAMENTO NO RESERVATÓRIO

O método empregado utilizou sísmica de alta resolução (sonar de varredura lateral). Foram feitas imagens do fundo do reservatório, de locais selecionados, que permitiu visualizar a distribuição dos sedimentos, programar coleta de amostras da superfície de fundo para análise granulométrica, e coleta de testemunhos verticais para descrição das composições granulométricas e estruturas sedimentares.

A associação dos resultados permitiu verificar locais de ocorrência de assoreamento no lago, a caracterização da variação na granulometria dos sedimentos (Fig. 5.18 à 5.30), espessura e constituição da camada de material depositado na fase pós enchimento do lago (Fig. 4.8). Com as imagens de sonar foi possível observar, por exemplo, trechos do antigo canal principal do rio Passaúna e de estradas submersas (Fig. 5.8 a 5.10 e apêndices 5.1 a 5.7) que apresentaram assoreamento, alguns deles apresentados na figura 6.1.

Na área I, localizada após a ponte da estrada da Ferraria, verifica-se alargamento do lago e redução na velocidade no fluxo da água. Recebe contribuição de materiais dos loteamentos situados à montante da ponte sobre a estrada da Ferraria, dos loteamentos São José do Passaúna e Vila Torres, e dos taludes expostos nas margens do reservatório. O testemunho vertical n.º 40, retirado nesta área, apresentou camada pós enchimento do lago de aproximadamente 17 cm, acumulado sobre regolito (Fig. 5.15), com coloração marrom amarelado semelhante ao talude exposto, em processo erosivo devido a inexistência de cobertura vegetal, posicionado à margem direita do reservatório. Observou-se nas imagens de sonar (Apêndice 5.2) trechos de antigo tributário e estrada assoreados.

Na área II, o lago recebe contribuição da sub-bacia do rio da Ferraria, atualmente ocupada por nove loteamentos, e do tributário do loteamento Vila Torres II. O antigo canal do rio Passaúna apresentou-se encoberto pelo material de assoreamento em vários trechos. As áreas no entorno do rio da Ferraria, ocupadas por agricultura, apresentaram potenciais erosivos muito alto e extremamente alto, com provável contribuição de material ao reservatório. O fenômeno de carreamento de grande volume de sedimentos resultantes da lavagem de terrenos por grandes chuvas, é citada por Julien (1998 in Carvalho 2000) como a causa da maioria dos problemas ocorridos com pontes durante eventos hidrológicos críticos, enchentes, nos Estados Unidos;

Na área III, localizada no tributário que recebe contribuição do loteamento Morro do Juramento e de sub-bacias laterais. Observou-se grande variação na distribuição dos diâmetros médios nas amostras coletadas (Fig. 5.29). Os locais de coleta mais internos do tributário (amostras n.º 20 e 22) apresentaram sedimentos relativamente mais grossos, o que pode caracterizar maior proximidade da área-fonte. Podem ser oriundos do uso e ocupação das áreas urbanizadas nas margens do reservatório, que foram classificadas como áreas críticas para a produção de sedimentos. Observou-se nas imagens de sonar (apêndice 5.3), nos pontos de contribuição das sub-bacias de drenagem,



diferentes texturas na rugosidade do fundo, que podem ser decorrentes de diferentes materiais de contribuição e/ou diferenças do regime de fluxo da água.

Na área IV, trecho ao longo da margem direita do reservatório, a jusante da curva e estreitamento do lago, observou-se trechos do antigo canal do rio Passaúna e de estradas submersas hoje encobertas pela sedimentação e assoreamento (Apêndice 5.4). O material depositado deve ser proveniente das margens, área com características rurais. Pela localização no reservatório, local de mudança de direção e alteração na velocidade de fluxo.

Na área V, próxima a antiga área de empréstimo de material na fase de obra da barragem, pontos n.º 04, 05, 06, 07 e 11, apresentados na figura 5.13, os testemunhos verticais apresentaram espessura na fase pós enchimento do lago variando de 8 a 22 cm, caracterizados pela textura e coloração diferente nos materiais depositados. Observaram-se trechos do antigo canal do rio Passaúna e antigas estradas parcialmente encobertas pelo assoreamento (Fig. 5.9 e apêndices 5.5 e 5.6). O material de assoreamento tem origem na área de empréstimo da fase de obra e também, posteriormente, devido ocupação das margens do lago, que nesta região apresentou potenciais erosivos muito alto e extremamente alto e pelos menores teores de matéria orgânica apresentado, se comparados às demais amostras coletadas no reservatório.

Em vários outros locais do reservatório foi verificada a presença de material depositado após o enchimento do lago, cuja espessura foi medida em 18 testemunhos verticais coletados. Variaram de 8 a 36,5 cm, o que significa taxa de sedimentação variando de 0,66 à 3,04 cm/ano, entre 09/1990 e 11/2002, período de existência do reservatório. Dentre os valores encontrados destacaram espessuras que variaram de 17 cm (testemunho n.º 40) a 36,5 cm (testemunho n.º 8), ou seja, com taxas de sedimentação de 1,42 a 3,04 cm/ano (tabela 6.2), o que implica perda considerável no volume de acumulação do reservatório nestes locais. Carvalho (2000) relata que não existem cálculos para o Brasil, que relacionem a perda de capacidade dos reservatórios causada pelo acúmulo de sedimentos e os prejuízos gerados, mas que nos Estados Unidos, essa perda gera prejuízos da ordem de US\$ 100 milhões.

Tabela 6.2 – Espessura da camada e estimativa da taxa de deposição avaliada através dos testemunhos verticais.

Testemunho vertical	Espessura da camada de deposição (cm)	Estimativa de taxa de deposição (cm/ano)
n.º 40	17	1,42
n.º 14 e 46	20	1,67
n.º 11	22	1,83
n.º 41	23	1,92
n.º 08	36,5	3,04

Nos testemunhos verticais n.º 14, 41 e 46 foram observadas, na camada correspondente a fase pós enchimento do lago, textura e coloração diferenciadas, identificando mais de um estágio de deposição de material, isto é, material depositado em período e/ou velocidade distintos.

Através das classes de potencial erosivo obtidas pela aplicação da USLE, se atribuídos valores médios do quadro 5.1, para cada classe de potencial, tem-se o valor estimado da ordem de  $101 \text{ t/Km}^2 \text{ ano}$  para a erosão na bacia hidrográfica. Lima et al. (2001 in Campagnoli 2002) apresentou valor em torno de  $350 \text{ t/Km}^2 \text{ ano}$  para o rio das Velhas-MG e de  $613 \text{ t/Km}^2 \text{ ano}$  para o rio Paraopeba-MG.



## **7. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES**

Do estudo das áreas-fonte potenciais na bacia e do material depositado no reservatório do rio Passaúna concluiu-se:

- a) O desenvolvimento da região e o uso indiscriminado do solo levaram praticamente à erradicação das florestas, e atualmente a vegetação natural mais expressiva é caracterizada por pequenas áreas de floresta aluvial (mata ciliar) e capoeirão, que representa apenas 5,53% da área da bacia hidrográfica;
- b) A comparação do uso e ocupação do solo dos anos 2000 e 1991, apresentou incremento em torno de 13% para a área com alteração no uso e ocupação com pastagens ou áreas agrícolas substituindo florestas ou campos naturais, e redução da ordem de 6% nas áreas de preservação da vegetação natural;
- c) A bacia hidrográfica do reservatório foi atingida pelo crescimento no processo erosivo decorrente do uso e ocupação do solo, com aumento da área de agricultura e desmatamento (ações antrópicas), em áreas com solos constituídos de perfis mais imaturos (fator natural), provocando mudanças no comportamento hídrico da região (laminar para concentrado) e transporte do material ao reservatório;
- d) O potencial erosivo da bacia hidrográfica aumentou em torno de 10 pontos percentuais para as classes de potencial erosivo alto e muito alto, no período 1991-2000, reflexo exclusivo da ocupação inadequada das terras;
- e) Áreas com potencial erosivo extremamente alto na área da bacia hidrográfica são da ordem de 32,8%;
- f) Da análise da descrição textural dos 18 testemunhos verticais coletados, as espessuras avaliadas variaram de 8 a 36,5 cm. Pode-se estimar taxa de sedimentação variando entre 0,66 e 3,04 cm/ano, para o período de 09/1990 a 11/2002, aproximadamente 12 anos, período de existência do reservatório;
- g) A composição granulométrica do material de assoreamento apresentou grande variação. Este fato pode ser explicado por diferenças decorrentes do tipo de material disponível na área-fonte, da distância da área-fonte, da energia e processos envolvidos no transporte e deposição (posição no lago) e do eventual retrabalhamento após deposição. Em áreas próximas à margem com material particulado

exposto, pode haver ainda a contribuição direta por carreamento por água ou por movimentos (ação da gravidade, escorregamentos, fluxos de detritos), gerados em períodos de chuvas mais intensas;

h) A presença de sedimentos finos siltico-argilosos (lama) encontrados nos resultados da análise granulométrica e na camada superficial dos testemunhos verticais, pode caracterizar deposição pós enchimento, ocorrida pela redução de velocidade de transporte do material pelo rio na área do lago;

i) A tentativa de correlação entre os resultados da análise granulométrica das amostras de superfície, mostrou que há contribuição de material inconsolidado em todo o reservatório. A natureza dos depósitos é variada, contendo sedimentos finos e grossos. Podem ser provenientes da erosão laminar (entre sulcos), dos taludes expostos nas margens do reservatório e das ações antrópicas atuantes na área da bacia hidrográfica;

j) É muito forte a tendência do aumento da urbanização nas áreas de influência direta da estrada do Cerne e estrada da Ferraria, seja por ocupações irregulares, densificação fora dos parâmetros legais nos loteamentos regularizados, sub-divisões e edificações nas áreas lindeiras aos loteamentos. As condições de infra-estrutura de saneamento dos loteamentos existentes na área da bacia hidrográfica são críticas para a manutenção da qualidade e quantidade da água do reservatório da barragem do rio Passaúna;

k) Ocorrem transposições viárias sobre o rio Passaúna (BR-277 e estrada da Ferraria), em córregos e fundos de vale, sem os devidos cuidados para minimização de acidentes que podem impactar negativamente na qualidade da água;

l) A pressão a novas ocupações (habitações/serviços/indústrias), face à proximidade de Curitiba, torna a área da bacia hidrográfica crítica no sentido de garantir o balanceamento adequado entre a conservação ambiental e a ocupação do território.



## 7.1 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Considera-se que os resultados apresentados inserem-se no início de nova fase de conscientização da disponibilidade e uso dos recursos hídricos, que se tornaram cada vez mais escassos nos últimos 20, 30 anos. O mito de que a água é abundante no planeta e é um recurso renovável hoje, felizmente, foi derrubado. Com o crescimento da população e a urbanização, tais recursos tornaram-se escassos em quantidade e qualidade, mais difíceis de se obter e conservar, e mais caros para distribuir, prover e ampliar.

Por exemplo, no Brasil, que ainda vive sob a cultura da abundância, e detém cerca de 12% das reservas de água doce do planeta, estas são mal distribuídas, com grande concentração na Amazônia. Os estados da Paraíba e Pernambuco, por exemplo, sofrem problemas de abastecimento e as populações são submetidas a rodízios de até 48 horas. Os dois estados estão abaixo do índice de 2,5 mil m<sup>3</sup>/habitante/ano, considerado o mínimo pelas Nações Unidas. Em São Paulo cerca de 3 milhões de pessoas ficam sem água nos períodos de estiagem. Há quatro regiões paulistas com índice abaixo do índice das Nações Unidas, sendo que na região metropolitana, a disponibilidade de água é a menor do país (200 m<sup>3</sup>/hab/ano), obrigando a importação de água de sistemas de bacias hidrográficas vizinhas.

Este trabalho apresentou a variação ocorrida no uso e ocupação da área da bacia hidrográfica do reservatório do rio Passaúna no período de 1991 a 2000 e o processo de assoreamento ocorrido no reservatório no período 1990 à 2002, que indica a necessidade de ações imediatas que visem manter a condição atual do reservatório e evite o seu abandono como manancial e fonte de recursos hídricos.

Neste sentido, os resultados alcançados neste estudo ainda necessitam ser complementados e aprofundados numa série de aspectos, sugeridos como desenvolvimentos futuros. Assim, sugere-se:

- a) Coleta sistemática de testemunhos verticais em locais que apresentaram grande espessura de deposição neste estudo, para estimar com maior precisão a taxa de sedimentação efetiva, assim como de sua variação no reservatório;
- b) Pesquisa e estudos com maior detalhamento do fator de erodibilidade (K) e estimativa de um fator CP (uso e ocupação) para as áreas urbanizadas;
- c) Estudo da qualidade da água do reservatório associado a quantificação do teor de matéria orgânica do material de fundo;
- d) Elaboração de batimetria para todo o reservatório, para estimar o volume do reservatório já

assoreado. E repetição, com periodicidade que possibilite o acompanhamento e monitoramento do processo de assoreamento do reservatório;

e) Desenvolvimento de planos de controle no uso e ocupação do solo, através da implementação das leis existentes para a APA do Passaúna e aplicação de práticas conservacionistas.

## 7.2 AÇÕES A SEREM TOMADAS

Sugerem-se como ações a serem tomadas:

a) Controle do desmatamento e replantio de espécies vegetais no entorno do reservatório e na área da bacia hidrográfica, através da adoção de medidas jurídicas, com base na legislação vigente (lei federal 9.433/97, lei estadual 12.248/97 e decretos estaduais 1.751/96 e 5.063/01), e ações legais promovidas pelo Ministério Público;

b) Ações de urbanização, pavimentação viária, coleta e adução das águas pluviais, de responsabilidade das prefeituras municipais;

c) Implantação de sistema de coleta e remoção do lixo, de responsabilidade das prefeituras municipais;

d) Implantação de sistema de coleta, tratamento e/ou reversão do esgoto sanitário, de responsabilidade da concessionária de abastecimento de água e esgotamento sanitário;

e) Monitoramento do lançamento de esgotos sanitários clandestinos no lago da barragem;

f) Implantação de planos de monitoramento de risco e ambiental, como instrumentos de gestão em programas de recuperação da mata ciliar, como controle da ocupação e uso do solo, como controle da qualidade d'água do reservatório;

g) Implantação de sinalização e redutores de velocidade em estradas e rodovias que cortam a bacia hidrográfica.

Para a área com características exclusivamente rurais, sugere-se:

a) Orientação quanto ao despejo dos dejetos animais. Sugere-se orientar os produtores que têm na agricultura (lavouras, pecuária, olericultura) a principal fonte de renda e os dedicados à policultura (não especializados), mudanças com manejo de dejetos, avaliação do uso e localização de esterqueiras descobertas, esterco amontoado a céu aberto e uso de esterqueira coberta. Evitando o despejo de



dejetos animais em rios e córregos e a contaminação do reservatório;

b) Orientação quanto ao manejo de agrotóxicos. Sugere-se orientar e sensibilizar os produtores que fazem uso de agrotóxicos e o manejo destes produtos, sobretudo quanto à destinação final das embalagens e aos empregos corretos dos agrotóxicos;

c) Incentivo à adoção de novas tecnologias conservacionistas em pequenas áreas experimentais e sua adoção posterior em maior escala para bacia hidrográfica;

d) Estimular práticas conservacionistas de fertilização do solo: correção de acidez, correção de fertilidade, adubação orgânica com esterco e com restos de cultura (não queimada). Visa a melhoria da qualidade dos solos;

e) Adoção de práticas conservacionistas com relação às práticas de preparo do solo como: gradagem profunda, subsolagem e/ou escarificação, cultivo em nível, terraceamento, aração e gradagem. Visa melhorar a qualidade física do solo e a capacidade de absorção de água, mantém o solo mais úmido, a conservação e a proteção contra a erosão do solo;

f) Incentivar a rotação de culturas com adubação verde, de leguminosas com gramíneas, de grãos com forragens, cultura com pousio, cultura com adubação verde, entre outras. Visa a melhoria da produtividade, e principalmente a conservação e a proteção contra a erosão do solo;

g) Incentivar a adoção de práticas de conservação do solo. Destacam-se as principais: adubação verde, cobertura morta, enleiramento, cultivo mínimo, plantio direto, plantio em faixas, faixas de retenção, patamares vegetados e terraceamento. Visa a proteção do solo contra a erosão e melhoria da qualidade do solo;

h) Incentivar a utilização de áreas de lavoura no inverno com pastagens e culturas de inverno, e adubação verde. Visa a conservação do solo no inverno;

i) Adoção de controle das culturas periódicas na área da bacia hidrográfica, dos períodos de plantio e replantio, dos períodos e quantificação de áreas com solos expostos;

j) Plano de educação do produtor rural e plano restritivo de obras a serem considerados nos períodos críticos de chuva, momentos cruciais na produção de sedimentos;

k) Análise detalhada da história pluviométrica enfocando os episódicos críticos ao processo de assoreamento do reservatório. Visa o monitoramento e a elaboração de medidas preventivas e corretivas para a conservação e preservação do solo.

São passos a serem dados para conter o processo de assoreamento do reservatório e seus afluentes.

Concluindo este trabalho, evidencia-se a importância dos estudos de assoreamento.

Podem contribuir na indicação de áreas de maior potencial de degradação, mitigando-se, se não todos, pelo menos grande parte desses impactos para o reservatório e servir de ferramentas de gestão ambiental e de recursos hídricos.

### 7.3 SOBRE O OBJETIVO DESTA DISSERTAÇÃO

Parece-nos que o objetivo proposto neste trabalho foi atingido, já que:

- Foi apresentada a metodologia para obtenção dos fatores aplicados na Equação Universal de Perdas de Solo – USLE para avaliação qualitativa do potencial erosivo da bacia hidrográfica;
- A metodologia para a realização da análise granulométrica do material inorgânico contido nas amostras do fundo foi apresentada, com a indicação da realização da coleta das amostras e dos ensaios realizados em laboratório;
- A análise dos resultados da distribuição dos parâmetros texturais do material sedimentar inconsolidado depositado no fundo do reservatório da barragem foi apresentada com aplicação do programa Sysgran 2.4, através das curvas de frequência acumulada e diagrama de Shepard (1954), e do programa Surfer 7 que gerou mapa da distribuição granulométrica no fundo do reservatório;
- Foi apresentada avaliação do estado atual de assoreamento da superfície de fundo do reservatório através dos registros das imagens da sonografia que possibilitaram identificar áreas do fundo já assoreadas, e através da caracterização textural dos testemunhos verticais que apresentaram diferentes camadas de deposição;
- Foram apresentadas áreas críticas quanto ao potencial erosivo decorrente do atual uso e ocupação do solo da área da bacia hidrográfica, correlacionados ao tipo de solo e fatores de relevo e clima; e identificadas áreas-fonte potenciais, relacionadas a ocupação urbana, ocupações irregulares, taludes expostos, com deságüe diretamente no reservatório das águas servidas e lixo, entre outros;
- A parte prática, além de contribuir para o conhecimento da situação atual do processo de assoreamento, mostrou que é possível associar informações numa base de dados, em escala adequada à tarefa de planejamento, e que a partir dela podem-se gerar mapas básicos e derivados. Essa base está preparada para um sistema de informações georreferenciadas, já tendo sido implantada em parte e com algum esforço adicional poderá servir de instrumento de análise e simulações sobre a bacia hidrográfica;
- Foram indicadas medidas mitigadoras a serem implementadas na área da bacia hidrográfica, que



possibilitarão preservar o reservatório como fonte de recursos hídricos;

- Foram indicados estudos complementares que possibilitarão confirmar a taxa efetiva de sedimentação que vem ocorrendo e propiciar um maior conhecimento da qualidade da água do reservatório;

- A metodologia aqui aplicada, pode ser repetida para avaliação do processo de assoreamento em outros reservatórios;

- É de se destacar também que os resultados produzidos, neste estudo, vêm sendo procurados pelas comunidades técnicas usuárias (Câmara Técnica da APA do Passaúna, prefeituras, secretarias de estado, concessionárias de recursos hídricos, universidades, entre outros), na implantação de monitoramento e acompanhamento ambiental, na validação de políticas a serem adotadas e na adoção de medidas de mitigação da erosão em bacias hidrográficas e assoreamento de reservatórios.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA ALEMÃ DE COOPERAÇÃO TÉCNICA – GTZ. 1995. Eschborn / Alemanha. Zoneamento econômico – ecológico da APA estadual do Passaúna. Curitiba.
- ALCANTARA, M. A. T.; VILAR, O. M. 1998. Aplicação de métodos de análise para a avaliação da erodibilidade de alguns solos do estado de São Paulo. VI Simpósio Nacional de Controle de Erosão 29/03 à 01/04/98, resumo, Presidente Prudente, SP. p. 72.
- AGENA, S. S.; RIDENTE Jr., J.L.; NOVAES, M. C. J. 1998. Parametrização físico-hídrica de podzólico vermelho-amarelo da região de São José do Rio Preto-SP, para subsidiar o controle de erosões. RESUMO VI Simpósio Nacional de Controle de Erosão 29/03 à 01/04/98, resumo, Presidente Prudente, SP. p. 116.
- BASEI, M. A. S.; SIGA Jr., O.; MACHIAVELLI, A.; MANCINI, F. 1992. Evolução tectônica dos terrenos entre os cinturões Ribeira e Dom Feliciano (PR-SC). Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 22, n. 2, p. 212-227.
- BASTOS, C. A. B.; MILITITSKY, J.; DIAS, R. D. 1998. Avaliação Geotécnica da erodibilidade de solos residuais da região metropolitana de Porto Alegre, RS. VI Simpósio Nacional de Controle de Erosão 29/03 à 01/04/98, resumo, Presidente Prudente, SP. p. 82.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. 1985. Conservação do solo. Piracicaba, livroceres, 392 p. BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. 1985. Conservação do solo. Piracicaba, livroceres, 392 p.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F.; BENATTI, F. R. Júnior. 1975. Equação de perdas de solo. INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. Campinas, SP. 25p. (Boletim Técnico, 21).
- BIGARELLA, J. J. 1985. Visão integrada da problemática da erosão. Curitiba, Associação de Defesa e Educação Ambiental Brasileira de Geologia de Engenharia. 329 p.
- BIGARELLA, J. J.; SALAMUNI, R. 1956. Estudos Preliminares Série Açungui. Estruturas Organógenas nos dolomitos da Formação Capiu (Estado do Paraná). Dusenya, Curitiba, v.3, n.6, p. 317-323.
- BIGARELLA, J. J.; SALAMUNI, R. 1958. Estudos Preliminares na Série Açungui. VIII- A Formação Votuverava. Bol. Geol. v.2. 6 p. Curitiba.
- BIGARELLA, J. J.; SALAMUNI, R. 1959. Contribuição à Geologia da Região Sul da Série Açungui (PR). Associação Geografia Brasileira, XI, I, 63-80, São Paulo.
- BISCAIA, R. C. M. 1977. Influência da intensidade de movimentação do solo no processo erosivo, com uso de simulador de chuva, em latosol vermelho escuro dos Campos Gerais, no Paraná. INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS.
- BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E DA AMAZÔNIA LEGAL. CONAMA Conselho Nacional do Meio Ambiente. 1986. Resolução nº 20, de 18 de junho de 1986. s.e. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília.
- BROWNING, G. M.; PARISH, C. L.; GLASS, J. A. 1947. A method for determining the use and limitation of rotation and conservation practices in control of soil erosion in Iowa. J. Amer. Soc. Agron., Madison, Wisc., 39: 65-73.
- CAMARGO, M. G. 1999. SYSGRAN para Windows: Sistema de Análises Granulométricas. [mcamargo@cem.ufpr.br].



- CAMPAGNOLI, F. 2002. A aplicação do assoreamento na definição de geoindicadores ambientais em áreas urbanas: exemplo na bacia do Alto Tiête, SP. São Paulo. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado, 195 p.
- CAMPOS, S. P.; SIMÕES, L. B.; RIBEIRO, L. F.; ZIMBACK, C. R. L. 1998. Krigagem ordinária na avaliação da suscetibilidade de solos à erosão. VI Simpósio Nacional de Controle de Erosão 29/03 à 01/04/98, resumo, Presidente Prudente, SP. p. 107.
- CARVALHO, M. P.; LOMBARDI NETO, F.; VASQUES FILHO, J.; CATANEO, A. 1989. Índices de erosividade da chuva correlacionados com as perdas de um podzólico vermelho-amarelo eutrófico textura argilosa/ muito argilosa de Mococa (SP); primeira aproximação do fator erodibilidade do solo. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 13 (2): 237-242.
- CARVALHO, N. O. 1991. Curso de transporte e dispresão de sedimentos e cálculo da vida útil de reservatórios. Programa de impactos ambientais de barragens. Convênio de cooperação técnica SUREHMA/GTZ. 227 p.
- CARVALHO, N. O. 1994. Hidrosedimentologia Prática. Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais – CPRM/ELETOBRÁS. 372 p.
- CARVALHO, N. O.; FILIZOLA JUNIOR, N. P.; SANTOS, P. M. C.; LIMA, J. E. F. W. 2000. Guia de práticas sedimentológicas. Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. 154 p.
- CARVALHO, N. O.; FILIZOLA JUNIOR, N. P.; SANTOS, P. M. C.; LIMA, I. E. F. W. 2000. Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios. Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. 132 p.
- COBRAPE – COMPANHIA BRASILEIRA DE PROJETOS E EMPREENDIMENTOS. 2000. Relatório Parcial dos Estudos da Atualização do Zoneamento Ecológico – Econômico da área de Proteção Ambiental do Passaúna. 200 p.
- COIMBRA, A. M., GOES, A. M., YAMOTO, J. K. 1999. Análise Granulométrica de Sedimentos. Notas de aula.
- COMEC - COORDENAÇÃO DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA. 1976. Levantamento Aerofotogramétrico, Escala 1:10.000. Sistema Estadual de Planejamento. Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba. Curitiba, PR.
- COMEC - COORDENAÇÃO DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA. 1986. IPPUC. Plano Diretor da Bacia do Rio Passaúna – Caracterização da Situação – Dados Preliminares.
- COMEC - COORDENAÇÃO DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA. 1988. IPARDES. Plano Diretor da Bacia do Rio Passaúna – Aspectos Sócio Econômicos (versão preliminar).
- COMEC - COORDENAÇÃO DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA. 1988. Plano Diretor da Bacia do Rio Passaúna – Estudos Geológicos.
- COMEC - COORDENAÇÃO DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA. 1991. Zoneamento de Uso e Ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Passaúna. Primeira aproximação – março, 1991.
- COMEC. COORDENAÇÃO DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA. 1995. Escala 1:150.000. Zoneamento ecológico - econômico da APA estadual do Passaúna. Governo do Estado do Paraná, Secretaria de Estado do Planejamento e Coordenação Geral. Curitiba, PR.
- COMEC. COORDENAÇÃO DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA. 1996. Escala 1:150.000. Parque e controle das cheias do Alto Iguaçu. Relatório interno - PRA-01. Curitiba, PR.

- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS-CPRM 2000. Programa levantamentos geológicos básicos do Brasil. Carta geológica compilada Curitiba. São Paulo: DNPM, 1989. 1 mapa polyester: 77 x 102 cm. Escala 1:100.000.
- CURITIBA, Prefeitura Municipal. 1986. Diagnóstico Florístico e Faunístico da área do reservatório do Passaúna, Região Metropolitana de Curitiba, com recomendações sobre o impacto ambiental. Curitiba: SMMA, Divisão de Museu de História Natural.
- DEGLORIA, S. D. 1991 Elements of geographic information systems for resource conservation. Challenges in the Conservation of Biological Resources: A practitioner's Guide Boulder, Westview Press. p. 153-166.
- DINIZ, N.C. 1998. Automação da cartografia geotécnica: uma ferramenta de estudos e projetos para a avaliação ambiental. Tese de doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP – 2 vol. 297 p.
- ELETRORBRÁS - Centrais Elétricas Brasileiras. 1991. Diagnóstico das condições sedimentológicas dos Principais rios brasileiros. Relatório do IPH/UFRGS. Rio de Janeiro, RJ.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. 1984. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. Rio de Janeiro, RJ/Projeto Especial Levantamento de Solos. Levantamentos de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná. Londrina, EMBRAPA/ IAPAR. Tomo I, 413p. (EMBRAPA/Boletim técnico, 16)
- ESRI - ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. 1992. ArcView User's Guide. Redlands, Environmental Systems Research Institute.
- ESRI - ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. 1994. ArcView GIS for everyone. Redlands, Environmental Systems Research Institute.
- FIORI, A.P. 1992. Tectônica e Estratigrafia do Grupo Açungui – PR. Boletim do Instituto de Geociências da USP. Série Científica. São Paulo, v. 23, p. 55-74.
- FIORI, A.P. 1994. Evolução geológica da Bacia Açungui. Boletim Paranaense de Geociências, n. 42, p. 7-27.
- FOLK, R. L. 1966. A review of grain size parameters. Sedimentology, Amsterdam, 6:73-93.
- FOLK, R. L. ; WARD, W. C. 1957. Brazos River Bar: a study in the significance of grain size parameters. J. Sed. Petrol., 27:3-27.
- FOURNIER, F. 1960. The effect of factor on soil erosion: estimates of solids transported in suspension in runoff. Association Hydrologic Int. Public., 1960. 6p. v.38.
- FREIRE, A; PEREIRA, V. P; CARVALHO, W. A.; TOMMASELLI, J. T. G.; GODOY M. C. F. T.; TEIXEIRA, S. R. 1998. Erodibilidade de alguns solos do oeste do estado de São Paulo. VI Simpósio Nacional de Controle de Erosão 29/03 à 01/04/98, resumo, Presidente Prudente, SP. p. 98. GOLDEN SOFTWARE INC. 1990. Surfer v.7 – User's guide. Golden : Golden Software.
- GRECCHI, R.C.; PEJON O. J. 1998. Estudos Geoambientais da região de Piracicaba-SP, focalizando o problema de erosão linear, com auxílio do sistema de informação geográfica. VI Simpósio Nacional de Controle de Erosão 29/03 à 01/04/98, resumo, Presidente Prudente, SP. p. 105.
- INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ – IAPAR. 1978, 1979, 1980, 1981 e 1982. Relatório técnico anual. Londrina. Programa de Manejo e Conservação de Solo.
- INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ – IAPAR. 1981. Levantamentos de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná. Mapa escala 1:600.000, CD. Londrina. Paraná.



- INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ – IAPAR, EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. 1975. Recomendações gerais do encontro sobre o uso de simulador de chuva, em pesquisas de conservação do solo no Brasil. Encontro Nacional sobre Pesquisa de Erosão com Simulador de Chuva, 1º, Londrina, 7-11, julho, p. 107-120.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. – IPT. 1986. Perfilagem Sísmica, batimetria e sonar de varredura lateral no local de implantação da UHE de Ilha Grande (Guaíra, PR). Relatório interno nº 24.087. 1v.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. – IPT. 1986. Consolidação do projeto orientações para o combate à erosão no Estado de São Paulo. Relatório interno nº 23.204.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. – IPT. 1996. Adequação e controle da mineração na bacia do Guarapiranga: Avaliação do potencial mineral. São Paulo. Relatório interno nº 34663.
- KLEIN, R. M.; HATSCHBACH, G. 1962. Fitofisionomia e notas sobre a vegetação para acompanhar a planta fitogeográfica do município de Curitiba e arredores (Paraná). Boletim da Universidade Federal do Paraná, Geografia Física. Curitiba: UFPR, nº 4.
- KOK, K.; CLAVAUUX M. B. W.; HEEREBOUT, W. M.; BRONSVELD, K. 1995. Land degradation and land cover change detection using low – resolution satellite images and the CORINE database: a case study in Spain. ITC Journal 3:217-228.
- KRUMBEIN, W. C. 1934. Size frequency distribution of sediments. Journal of Sed. Petrol., 4:65-77.
- LAL, R. 1976. Soil erosion on alfisols in Western Nigeria III. Effects on rainfall characteristics. Geoderme, Amsterdam, 16: 389-401.
- LOMBARDI NETO, F. 1977. Rainfall erosivity. Its distribution and relations ship with soil loss at Campinas, Brasil. West Lafayette Purdue University, 53p. (Dissertação de Mestrado).
- LOMBARDI NETO, F.; BERTONI, J. 1975. Erodibilidade de solos paulistas. Campinas, SP, INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. Campinas 12p. (Boletim Técnico, 28).
- MARINI, O. J.; TREIN, E.; FUCK, R. A. 1967. O Grupo Açungui no Estado do Paraná. In: Geologia do Pré-Devoniano e Intrusivas Subseqüentes da Porção Oriental do Estado do Paraná. Boletim Paranaense de Geociências, n. 23-25, p. 221-235. MELO, M. S.; RICOMINI, C.; HASUY, Y.; ALMEIDA, F. F. M.; COIMBRA, A. M. 1985. Geologia e evolução do sistema de bacias tafrogênicas continentais do sudeste do Brasil. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 15, p. 193-201.
- MIDDLETON, H. E. 1930. Properties of soils which influence soil erosion. Washington, D. C., USDA. 16p. (Technic Bulletin, 178).
- MINERAIS DO PARANÁ S.A.- MINEROPAR. 1989. Mapa Geológico do Estado do Paraná. Curitiba : MINEROPAR : DNPM. 1 mapa : color. 100 x 130 cm. Escala 1:650.000.
- MONDARDO, A. 1977. Relatório Técnico Anual do Programa de Manejo e Conservação de Solos do IAPAR, Londrina.
- MONDARDO, A.; BISCAIA, R. C. M. 1981. Relatório Técnico Anual do Programa de Manejo e Conservação de Solos do IAPAR, Londrina.
- MONDARDO, A.; FARIAS, G. S.; HENKLAIN, J. C.; RUFINO, R. L. 1978. Índices de erodibilidade de alguns solos do Estado do Paraná. IN: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DOS SOLOS, 2, Passo Fundo. p. 199-201.

- MORAIS, L. F. B.; MUTTI, L. S. M. e ELTZ, F. L. F. 1988. Índices de erosividade correlacionados com perdas de solo no Rio Grande do Sul. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 12:281-284.
- MURATORI, A. 1966. Nota Explicativa da Folha Geológica de Campo Largo. Boletim da UFPR. Geologia, nº 21, novembro. MUSGRAVE, C. W. 1947. The quantitative evaluation of factors water erosion, a first approximation. J. Soil and Wat. Cons., Fairmont, W.Va., 2:133-138.
- MUSGRAVE, C. W. 1947. The quantitative evaluation of factors water erosion, a first approximation. J. Soil and Wat. Cons., Fairmont, W.Va., 2:133-138.
- PANAVUE, Image Assembler 2.11. QUEBEC. Canada. <[www.PanaVue.com](http://www.PanaVue.com)>
- PINTO, S. A. F. 1998. Geoprocessamento aplicado à caracterização de indicador da erosão do solo: Exemplo da bacia hidrográfica do Ribeirão Claro-SP. VI Simpósio Nacional de Controle de Erosão 29/03 à 01/04/98, resumo, Presidente Prudente, SP. p. 106.
- PONÇANO, W. L. 1981. Metodologia para estudo de assoreamento de reservatório (III). Roteiro para estudos de reservatórios no Sul e Sudoeste brasileiros. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 3, Itapema (SC). Anais, v.2: p. 331-353.
- RIDENTE Jr., J. L.; CERRI, L. E. S.; CANIL, K.; IWASA, O. Y.; AUGUSTO FILHO, O. 1998. Risco potencial de erosão da área urbana e periurbana de São José do Rio Preto-SP, visando a prevenção. VI Simpósio Nacional de Controle de Erosão 29/03 à 01/04/98, resumo, Presidente Prudente, SP. p. 125.
- ROLOFF, G. 2002. Determinação do fator K. Comunicação Pessoal, Setor de Ciências Agrárias. Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, UFPR. Curitiba.
- RUFINO, R. L. 1986. Avaliação potencial erosivo da chuva para o Estado do Paraná, Segunda aproximação. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 10:279-281.
- RUFINO, R. L. 1993. Avaliação potencial erosivo da chuva para o Estado do Paraná, Terceira aproximação. R. Bras. Ci. Solo, Campinas, 17: 439-444.
- SALAMUNI, E.; SALAMUNI, R.; EBERT, H. D. 1999. Contribuição à geologia da Bacia Sedimentar de Curitiba-PR. Boletim Paranaense de Geociências, n. 47, p. 123-142. SANEPAR - Companhia de Saneamento do Paraná, 1992. Plano Diretor do Sistema de Água de Curitiba e Região Metropolitana.
- SANEPAR - COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ, 1992. Plano Diretor do Sistema de Água de Curitiba e Região Metropolitana.
- SANEPAR - COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ, CONSILIU – Projetos e Consultoria Ltda. 2002. Planos de Uso e Ocupação das Águas e do Entorno dos Reservatórios dos Rios Iraí, Piraquara I e Passaúna na Região Metropolitana de Curitiba. Curitiba. Paraná.
- SANTOS, I.; GOMES, J. 1998. Caracterização do índice de erosividade da porção oriental do estado do Paraná. VI Simpósio Nacional de Controle de Erosão 29/03 à 01/04/98, resumo, Presidente Prudente, SP. p. 83.
- SHEPARD, F. P. (1954) Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. J. Sed. Petrol.: v. 24, n 3, p. 151-158.
- SIGA Jr., O.; BASEI, M. A. S.; REIS NETO, J. M.; MACHIAVELLI, A.; HARARA, O. M.; 1996. O complexo Atuba: um cinturão paleoproterozóico intensamente retrabalhado no neoproterozóico. Boletim do Instituto de Geociências da USP. Série Científica. São Paulo, v. 26, p. 69-98.



- SILVA, J. R. C.; DEGLORIA, S. D.; PHILIPSON, W. R.; McNEIL, R. J. 1993. Estudo da mudança de uso da terra através de um sistema de análise georreferenciada. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 17: p. 451-457.
- SILVA, S. M.; SILVA, F. C.; VIEIRA, A. O. S.; NAKAJIMA, J. N.; PIMENTA, J. A.; COLLI, S. 1992. Composição florística do componente arbóreo das florestas ciliares da bacia do rio Tibagi, Paraná. In: 2º Congresso Nacional sobre Essências Nativas. Anais, São Paulo: IF. p. 192-198.
- SIMEPAR – SISTEMA METEOROLÓGICO DO PARANÁ. 2003. Relatório de Temperaturas para Curitiba.
- SMITH, D. D. 1941. Interpretation of soil conservation data field use. *Agricultural Engineering St. Joseph, Miel*, 22: 173-175.
- SOUZA, L. A. P. 1988. As técnicas geofísicas de sísmica de reflexão de alta resolução e sonografia aplicadas ao estudo de aspectos geológicos e geotécnicos em áreas submersas. Congresso Brasileiro de Geologia, Belém, PA, SBG, v.4, p. 1551-1564.
- SOUZA, L. A. P. 2002. Interpretação das imagens de sonografia. Comunicação Pessoal. IPT. São Paulo, SP.
- SOUZA, L. A. P. 1995. A planície costeira Cananéia – Iguape, litoral sul do Estado de São Paulo: Um exemplo de utilização de métodos geofísicos no estudo de áreas costeiras. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 207 p.
- SOUZA, L. A. P.; TESSLER M. G.; GALLI V. L. 1996. O Graben de Cananéia. *R. Bras. Geol.*, 26 (3): p. 139-150.
- SOUZA, L. A. P.; MELLO, I. S. C.; CAMPAGNOLI, F.; MOTTA, J. F. M. 1996. Algumas características dos depósitos de assoreamento do Reservatório de Guarapiranga, In: Workshop Sobre a Qualidade da Água do Guarapiranga. SMA. São Paulo.
- STEIN, D. P. 1999. Avaliação da Degradação do Meio Físico da Bacia do Rio Santo Anastácio no Oeste Paulista. Rio Claro. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista, São Paulo, Tese de Doutorado, 197p.
- STEIN, D. P.; DONZELLI, P. L.; GIMENEZ, F. A.; PONÇANO, E. L.; LOMBARDI NETO, F. 1987. Potencial de Erosão Laminar, Natural e Antrópica na Bacia do Peixe-Paranapanema. Anais do Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 4, Marília, São Paulo, ABGE/DAEE, p. 105-135.
- STOCKES, G. G. 1851. On the effect of the internal friction of fluids on the motion of pendulums. *Trans. Cambridge Philos. Soc.*, 9, Parte 2, p. 8-106.
- SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL – SUDERHSA. 1998. Atlas de recursos hídricos do Estado do Paraná.
- SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL – SUDERHSA, 2000. Base Cartográfica Digital, escala 1:10.000. Curitiba.
- SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL – SUDERHSA, 2002. Relatório de precipitação da estação da barragem Passaúna. Curitiba, PR.
- SUGUIO, K. 1973. Introdução à sedimentologia. São Paulo, Edgard Blücher, Ed. da Universidade de São Paulo. 317p.

- SUGUIO, K.; BIGARELLA, J. J. 1979. Ambiente Fluvial. Ambientes de sedimentação sua interpretação e importância. Ed. da Universidade Federal do Paraná, associação de Defesa e Educação Ambiental, Curitiba. p. 22-38.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ - UFPR. 2000. Normas para apresentação de trabalhos. Curitiba: Ed. da UFPR. 354p.
- USDA. 1961. A universal equation for predicting rainfall-erosion losses. Department of agriculture. Agricultural Research Service Washington, D.C., Estados Unidos, 11p. (ARS 22-66).
- VELOSO, H. P. 1991. Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal. Rio de Janeiro, Fundação IBGE. 123 p.
- WENTWORTH, C. K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. J. Geol., Chicago, 30:377-392.
- WILKINSON, G. E. 1975. Rainfall characteristics an soil in the rainforest area of Western. Exp. Agr., Great Britain, 2:247-255.
- WILSON Jr., G. 1998. Variações morfológicas na bacia hidrográfica do rio Iguaçu-RJ, devido às ações antrópicas. VI Simpósio Nacional de Controle de Erosão 29/03 à 01/04/98, resumo, Presidente Prudente, SP. p. 95.
- WISCHMEIER, W. H. 1972. Upslope erosion analysis. In: SHEN, H.W. Environmental impact on Rivers. Fort Collins. Cap. 15, p. 1-26.
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. 1958. Rainfall energy and its relationship to soil loss. Trans. Amer. Geophys. Union, Washington, 39 (2):285-291.
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. 1960. A Universal soil loss estimating equation to guide conservation farm planning. In: INTERNATIONAL SOIL SCIENCE., Madison, Wisc., Transactions, p. 418-425.
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. 1965. Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains: guide for selection of practices for soil and water conservation. Agricultural Research Service. Department of agricultur. Washington, USDA, 47p. (Agriculture handbook, 282)
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. 1978. Predicting rainfall erosin losses a guide to conservation planning. Washington, USDA. 58p. (Agriculture handbook, 537).
- WISCHMEIER, W. H.; JONHSON, C. B.; CROSS, B. V. A. 1971. Soil erodibility monograph for farmland and construction sites. Journal os Soil and Water Conservation, Fairmont, W. Va., 26(5), 189-193.
- ZINGG, A. W. 1950. Degree and length of land slope as it affects soil loss and runoff. Agricultural Engineerings, St. Joseph, Mich., 21: 59-64.



**SISTEMAS COMPUTACIONAIS E LINGUAGENS DE PROGRAMAÇÃO**

1. ESRI. ArcView GIS *for Windows. Environmental Systems Research Institute. V 3.1.*  
Rendlands, CA, USA. – COBRAPE.
2. Sysgran V 2.4 - Programa for Windows. 1999. Sistema de Dados Granulométricas - UFPR
3. Autocad MAP 2000 - *Autodesk User Group International (AUGI) - Computer Aided Designed*  
MAP – SANEPAR.
4. Surfer. V.7 – *Golden Software Inc. USA. 1999.* UFPR.
5. Corew Draw – V. 10 – *Copyright (c) – Corel Corporation, 2000.* USA. – SANEPAR.
6. Microsoft Wordstar. *Microsoft Corporation. 2000.* USA. – SANEPAR.
7. Microsoft Excell. *Microsoft Corporation. 2000.* USA. – SANEPAR.
8. Microsoft Power Point. *Microsoft Corporation. 2000.* USA. – SANEPAR
9. PANAVUE, Image Assembler 2.11. QUEBEC. Canada. <[www.PanaVue.com](http://www.PanaVue.com)>

### LISTA DE APÊNDICES

Apêndice 4.1	- Resultados da análise granulométrica das 44 amostras coletadas da superfície do fundo do reservatório.....	119
Apêndice 5.1	- Interpretação da imagem de sonografia do trecho próximo as estações 535 e 560.....	120
Apêndice 5.2	- Interpretação da imagem de sonografia do trecho próximo as estações 821 e 861.....	121
Apêndice 5.3	- Interpretação da imagem de sonografia do trecho próximo das estações 1561 à 1621, área da bacia hidrográfica da localidade denominada Morro do Juramento .....	122
Apêndice 5.4	- Interpretação da imagem de sonografia do trecho próximo as estações 1740 e 1770 .....	123
Apêndice 5.5	- Interpretação da imagem de sonografia do trecho próximo as estações 1861 e 1891 .....	124
Apêndice 5.6	- Interpretação da imagem de sonografia do trecho próximo das estações 1946 e 1971 .....	125
Apêndice 5.7	- Interpretação da imagem de sonografia do trecho próximo das estações 2011 e 2041, trecho a montante da barragem .....	126

### LISTA DE ANEXOS

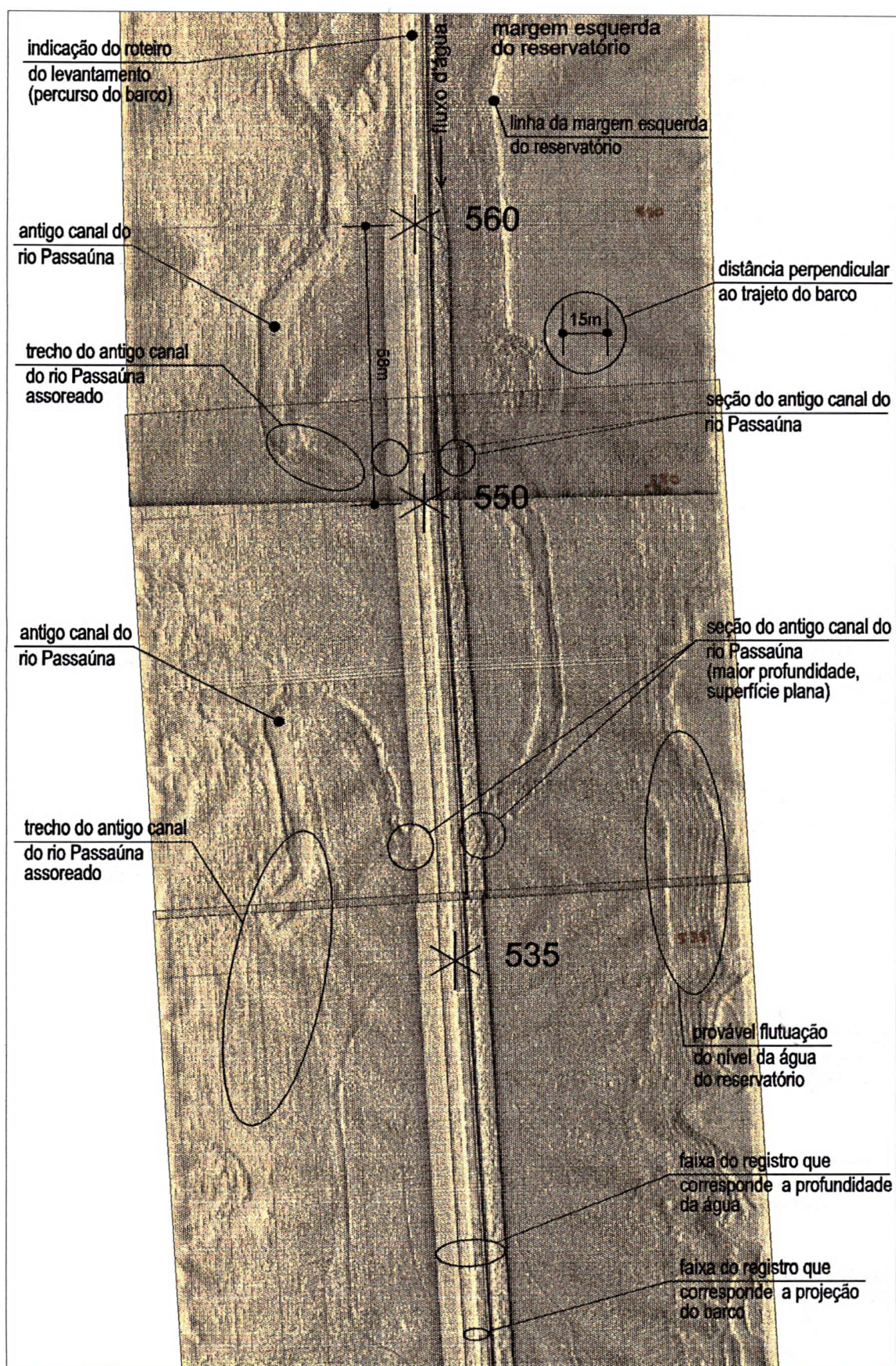
Anexo 3.1	- Informações relativas às características gerais da bacia hidrográfica, reservatório da barragem do rio Passaúna e níveis característicos da barragem .....	127
Anexo 3.2	- A) Alturas mensais de precipitação do posto de medição da ANEEL na estação da barragem Passaúna (mm), B) Resumo anual de precipitação em (mm) valor médio mensal.....	128
Anexo 4.1	- Subdivisão e nomenclatura dos tamanhos de grão de acordo com a classificação de Wentworth (1922), correspondência com os valores $\phi$ de Krumbein (1934).....	129



**Apêndice 4.1 – Resultados da análise granulométrica das 44 amostras coletadas da superfície do fundo do reservatório.**

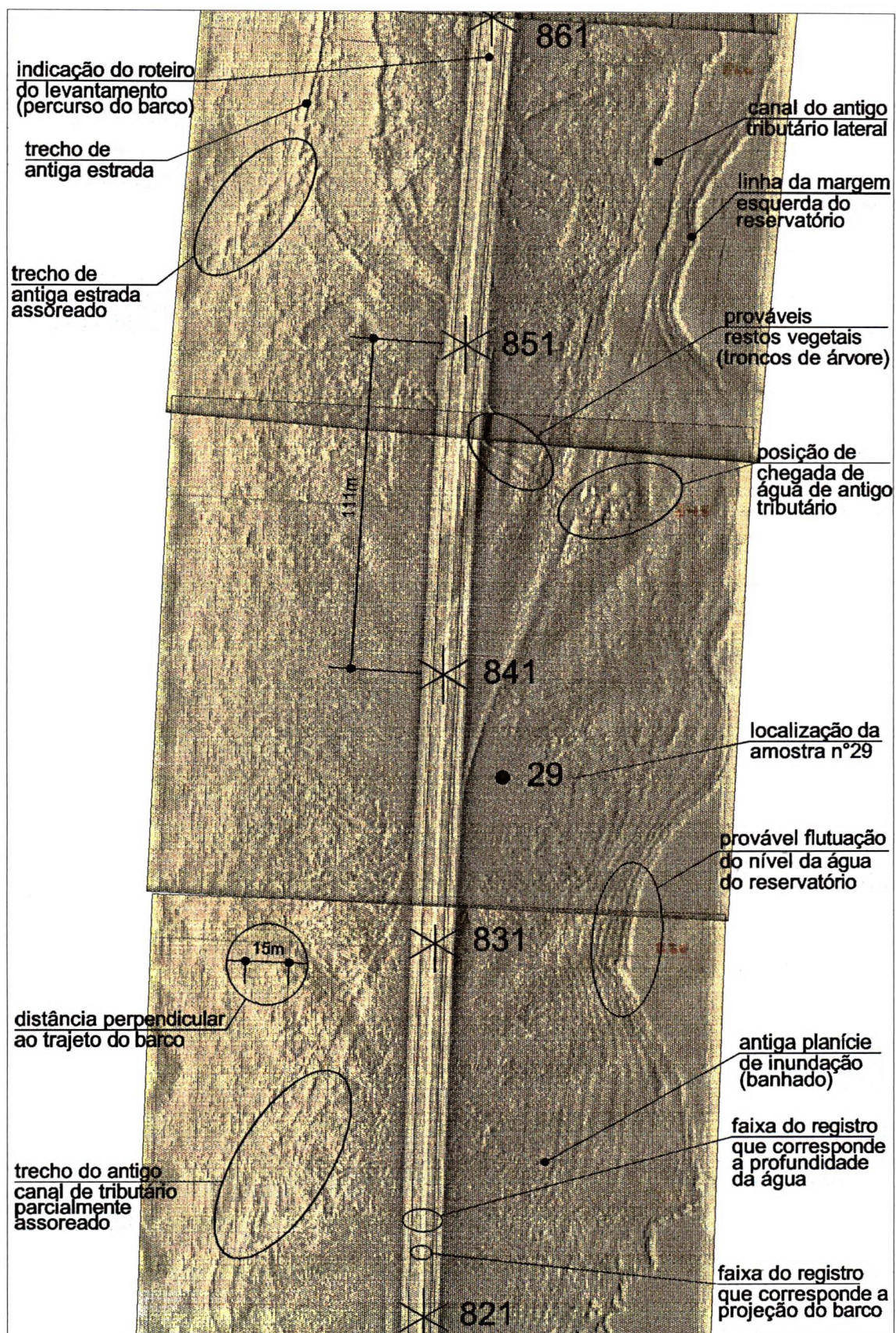
Amostra	Coord. S	Coord. W	Média	Mediana	Seleção	Assimetria	Curtose	% grânulo	% Areia	% Silte	% Argila	% MO
RM 01	662463	7175610	5,18	5,24	2,67	-0,06	0,75	0,00	44,92	36,44	18,64	75,30
RM 02	661693	7175390	5,98	6,79	1,88	-0,59	1,04	0,00	21,22	78,58	0,20	59,33
RM 04	661578	7176042	2,93	2,41	2,96	0,22	0,74	8,96	59,88	27,19	3,96	32,02
RM 05	661697	7176155	4,11	4,57	3,07	-0,23	0,65	5,54	44,02	50,39	0,05	36,96
RM 06	661698	7176461	5,15	5,41	1,32	-0,24	0,70	0,00	33,76	65,78	0,45	49,16
RM 07	661881	7176563	5,86	6,27	2,21	-0,24	0,63	0,00	43,82	37,75	18,43	58,87
RM 08	662387	7176359	5,32	5,55	1,90	-0,13	1,06	0,00	24,75	66,63	8,62	80,95
RM 09	663024	7177136	6,27	5,76	1,51	0,33	1,23	0,00	13,05	70,88	16,07	-
RM 10	662755	7177212	5,17	6,11	2,61	-0,49	0,71	0,00	33,18	61,62	5,20	81,90
RM 11	662504	7177325	4,84	5,44	2,87	-0,26	0,75	0,25	40,24	45,84	13,67	46,71
RM 12	662739	7177627	4,69	5,38	2,73	-0,35	0,66	0,00	46,08	52,97	0,95	62,68
RM 13	663269	7177224	2,35	2,14	1,71	0,40	1,47	0,00	87,32	12,33	0,35	75,58
RM13 F	663269	7177224	3,58	2,95	1,71	0,49	1,18	0,00	75,97	23,70	0,33	81,93
RM 14	663481	7176982	5,88	6,78	1,97	-0,60	0,99	0,00	23,03	76,47	0,50	85,79
RM 15	663744	7176953	4,77	5,42	2,74	-0,34	0,64	1,18	40,03	58,00	0,79	75,37
RM 16	664345	7177531	5,65	7,07	2,51	-0,77	0,74	0,00	28,60	70,65	0,75	61,59
RM 17	664130	7177540	3,88	3,44	2,84	0,17	0,55	0,39	54,84	44,17	0,60	42,37
RM 18	664258	7177893	4,30	5,22	2,39	-0,49	0,56	0,00	47,27	52,38	0,35	74,98
RM 19	664597	7178569	5,91	6,68	1,92	-0,55	1,12	0,00	19,66	78,26	2,08	69,74
RM 20	664474	7178419	1,83	1,81	1,53	0,23	1,52	0,25	90,69	7,95	1,11	43,03
RM 21	664403	7178295	6,10	6,67	2,15	-0,34	0,97	0,00	23,45	55,98	20,56	67,81
RM 22	663998	7178179	5,04	5,77	2,58	-0,40	0,65	0,34	38,63	59,05	1,98	59,83
RM 23	664005	7178027	3,78	3,00	2,90	0,32	0,73	0,87	60,19	30,44	8,50	73,10
RM 24	663923	7178691	5,71	6,38	2,00	-0,47	0,67	0,00	27,13	72,52	0,35	81,24
RM 25	663928	7179180	5,50	5,50	0,32	0,00	0,74	0,00	2,22	97,75	0,04	-
RM 26	663797	7180081	0,89	1,07	1,38	-0,16	1,02	12,35	85,63	1,72	0,30	24,19
RM 27	663305	7179942	5,31	6,12	2,39	-0,48	0,76	0,00	27,80	71,62	0,58	81,11
RM 28	662681	7180990	5,44	6,24	2,33	-0,51	0,84	0,00	25,55	73,80	0,65	67,63
RM 29	662698	7182727	4,91	5,39	2,43	-0,29	0,63	0,00	42,76	56,84	0,40	59,41
RM 30	662184	7181800	4,77	5,10	2,14	-0,19	0,85	0,00	47,75	47,05	5,20	69,69
RM 31	662430	7181706	4,12	3,67	2,47	0,25	0,81	0,00	60,08	30,80	9,12	63,38
RM 32	662638	7182282	3,25	2,69	2,36	0,39	1,36	0,00	77,09	16,51	6,40	64,82
RM 33	662675	7183116	4,19	3,44	1,88	0,56	0,94	0,00	70,41	24,06	5,53	69,70
RM 34	662622	7183448	2,26	2,16	1,89	0,27	1,78	0,00	85,01	12,00	2,99	34,28
RM 35	662704	7183946	3,55	2,63	2,67	0,47	0,65	0,00	64,67	25,99	9,34	74,32
RM 36	662294	7184369	5,40	6,29	2,48	-0,55	0,88	0,00	26,16	73,44	0,40	73,93
RM 37	662397	7183711	3,59	2,79	3,06	0,31	0,54	1,06	54,27	38,65	6,03	50,62
RM 38	662554	7183639	1,90	1,77	2,04	0,27	1,39	0,00	88,17	9,12	2,71	56,10
RM 39	662331	7182806	7,12	6,87	1,56	-0,02	1,29	0,00	10,86	57,72	31,41	61,52
RM 41	662805	7181603	3,31	3,05	2,48	0,21	0,86	0,00	65,30	27,62	7,08	69,91
RM 42	662386	7180944	5,90	6,63	2,23	-0,38	0,62	0,00	32,68	49,93	17,39	67,82
RM 43	662553	7180477	6,03	7,09	1,93	-0,71	0,91	0,00	23,11	76,74	0,15	88,66
RM 44	663188	7179532	5,75	6,22	2,46	-0,25	0,61	0,00	30,01	44,68	25,31	74,05
RM 45	663317	7179441	5,28	6,16	2,43	-0,48	0,59	0,00	39,66	58,72	1,62	68,48

Nota: A amostra RM 13F, foi coletada com mergulhador, posicionando e fechando o amostrador *box corer* diretamente no fundo do reservatório, no mesmo local da coleta da amostra RM 13, realizada com lançamento do amostrador em queda livre do barco.



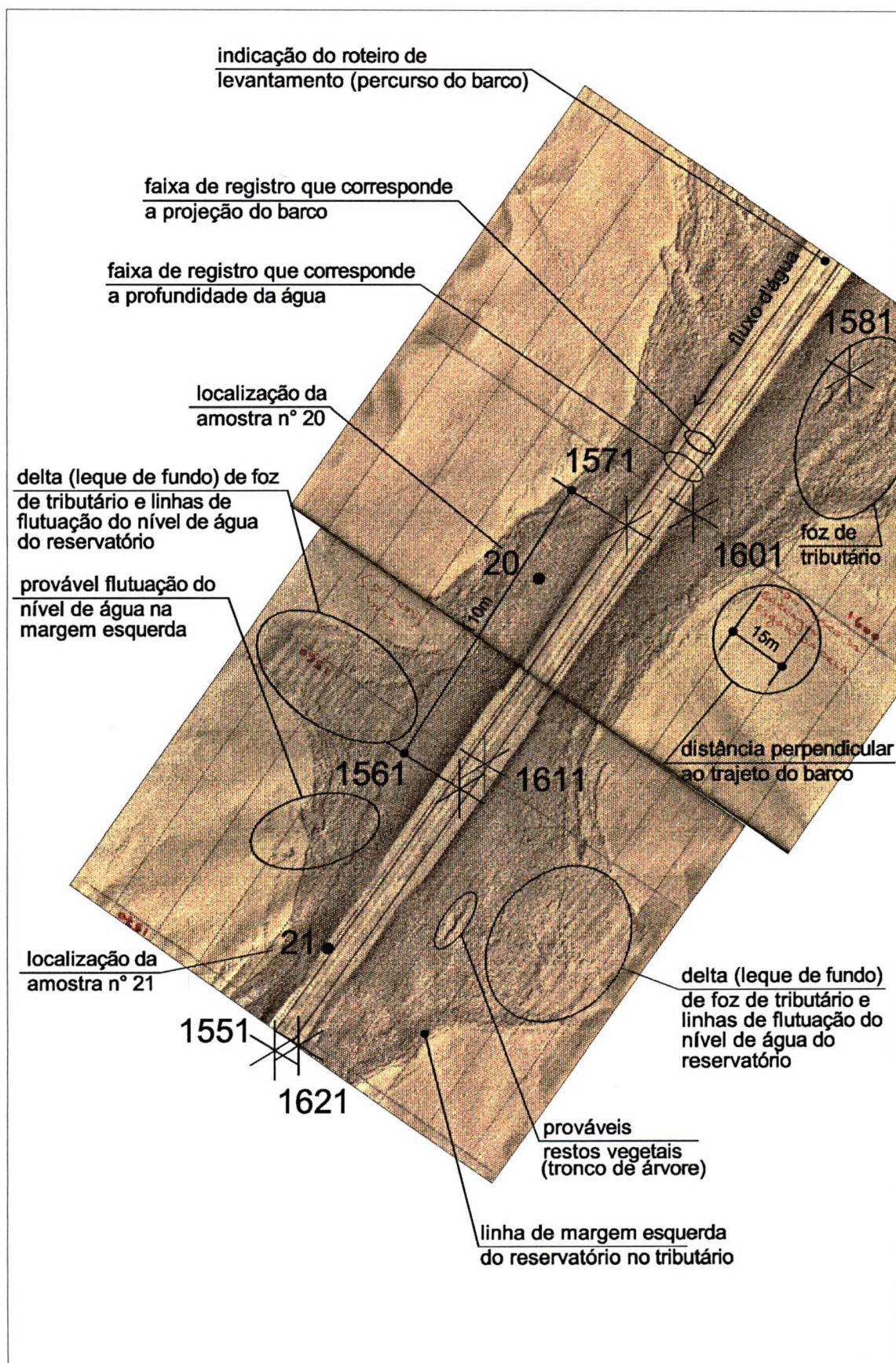
Apêndice 5.1 - Interpretação da imagem de sonografia do trecho próximo as estações 535 e 560.





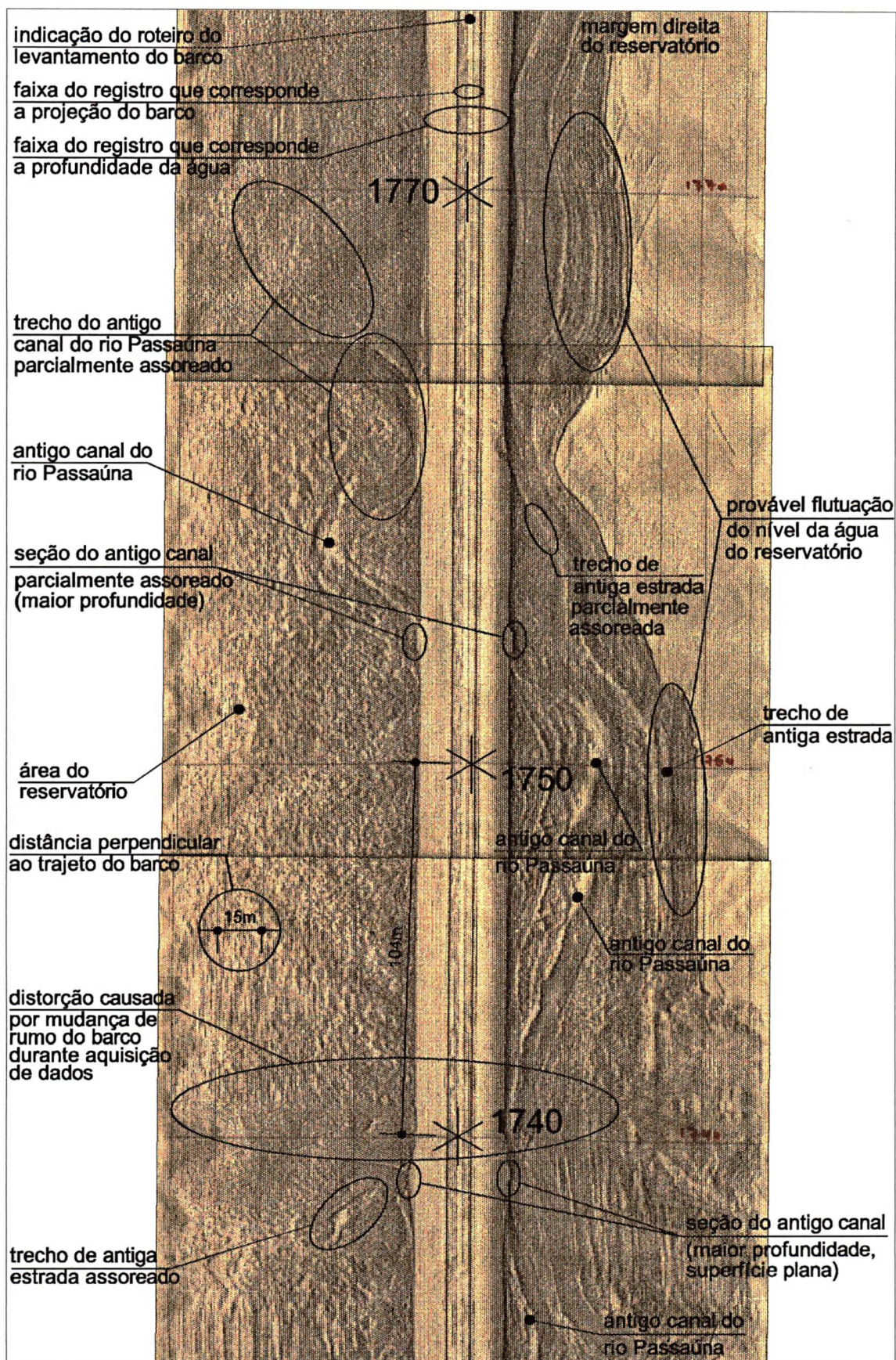
Apêndice 5.2 - Interpretação da imagem de sonografia do trecho próximo das estações 821 e 861.





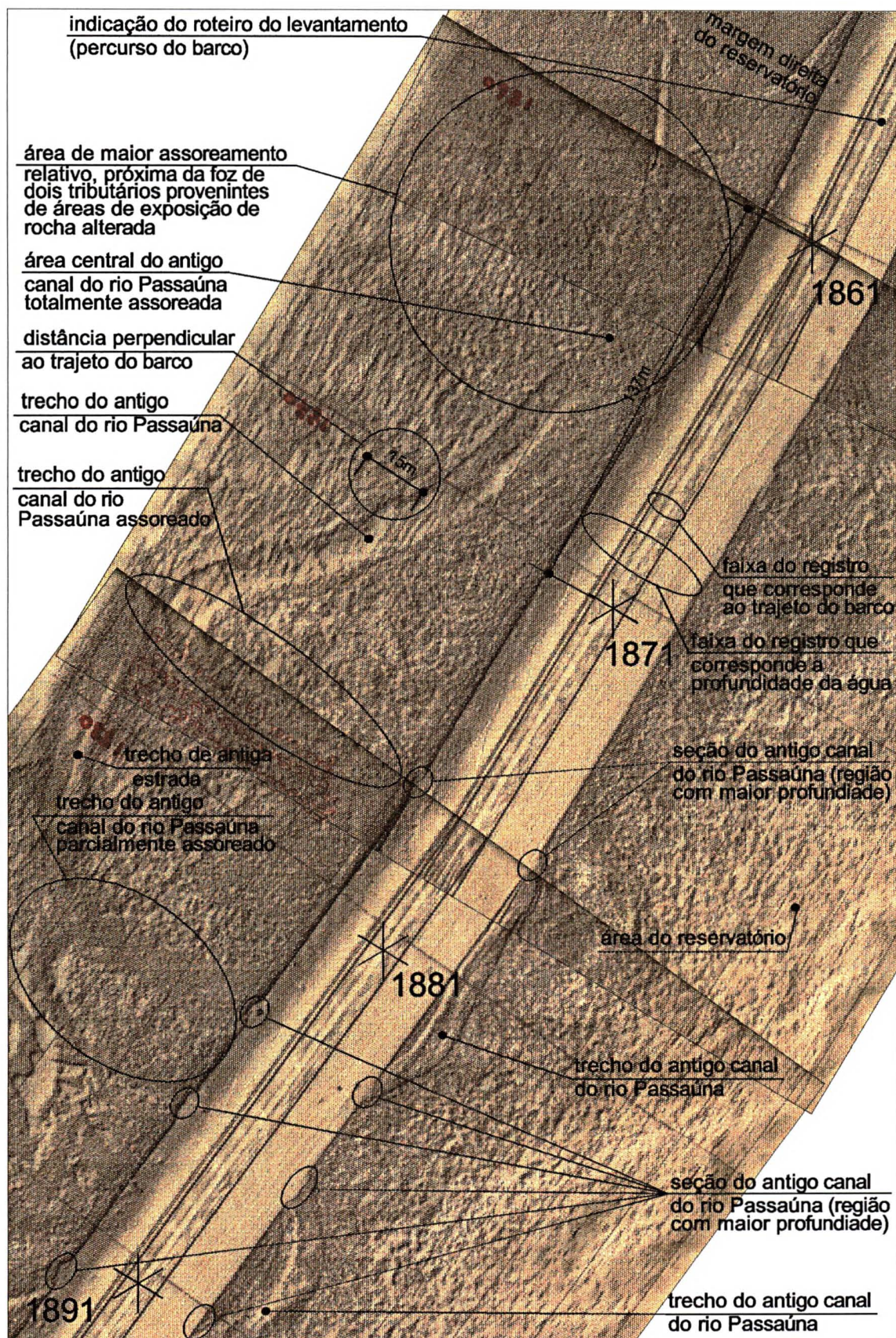
Apêndice 5.3 - Interpretação da imagem de sonografia do trecho próximo das estações 1561 e 1621, área da bacia hidrográfica da localidade denominada Morro do Juramento.





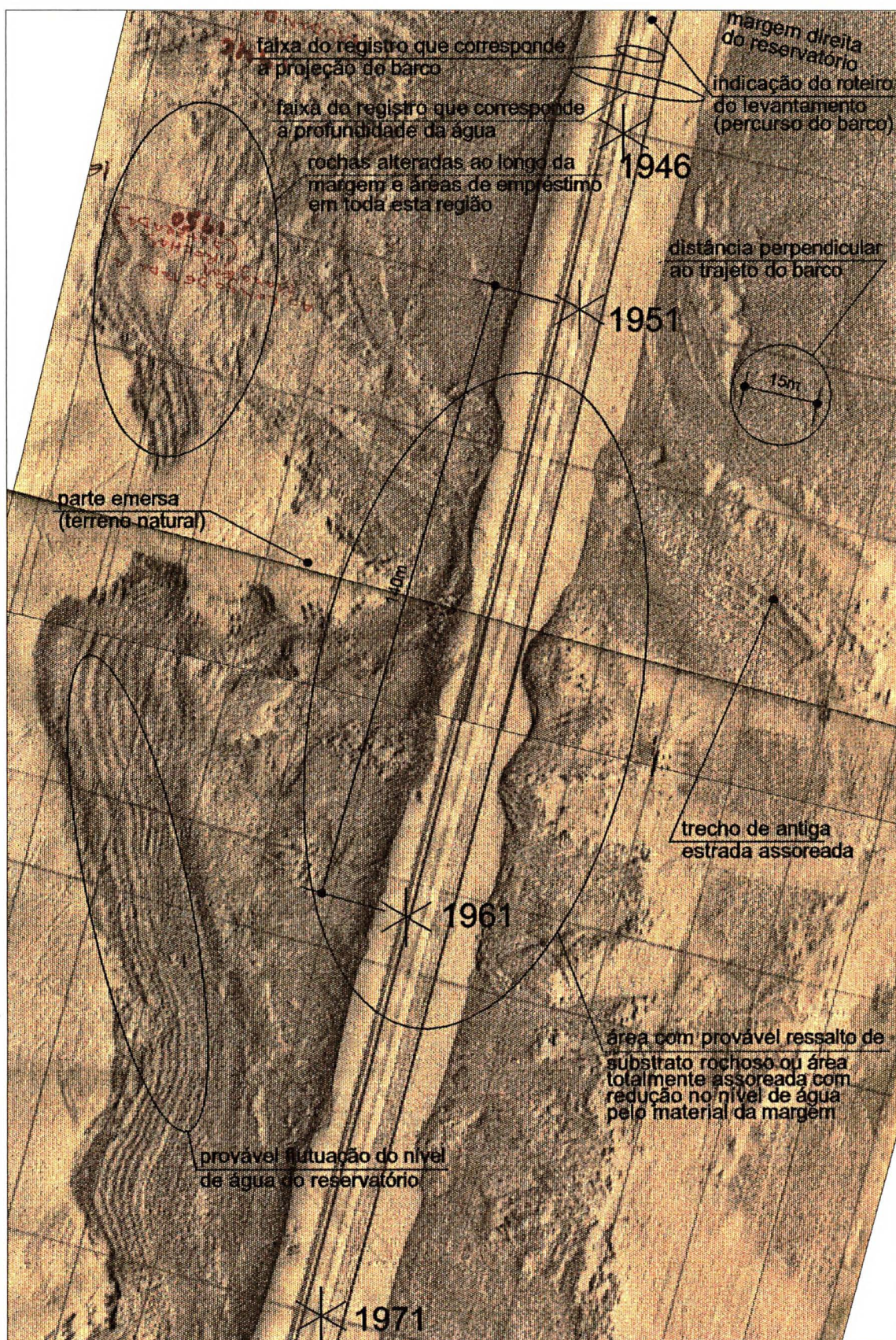
Apêndice 5.4 - Interpretação da imagem de sonografia do trecho próximo as estações 1740 e 1770.





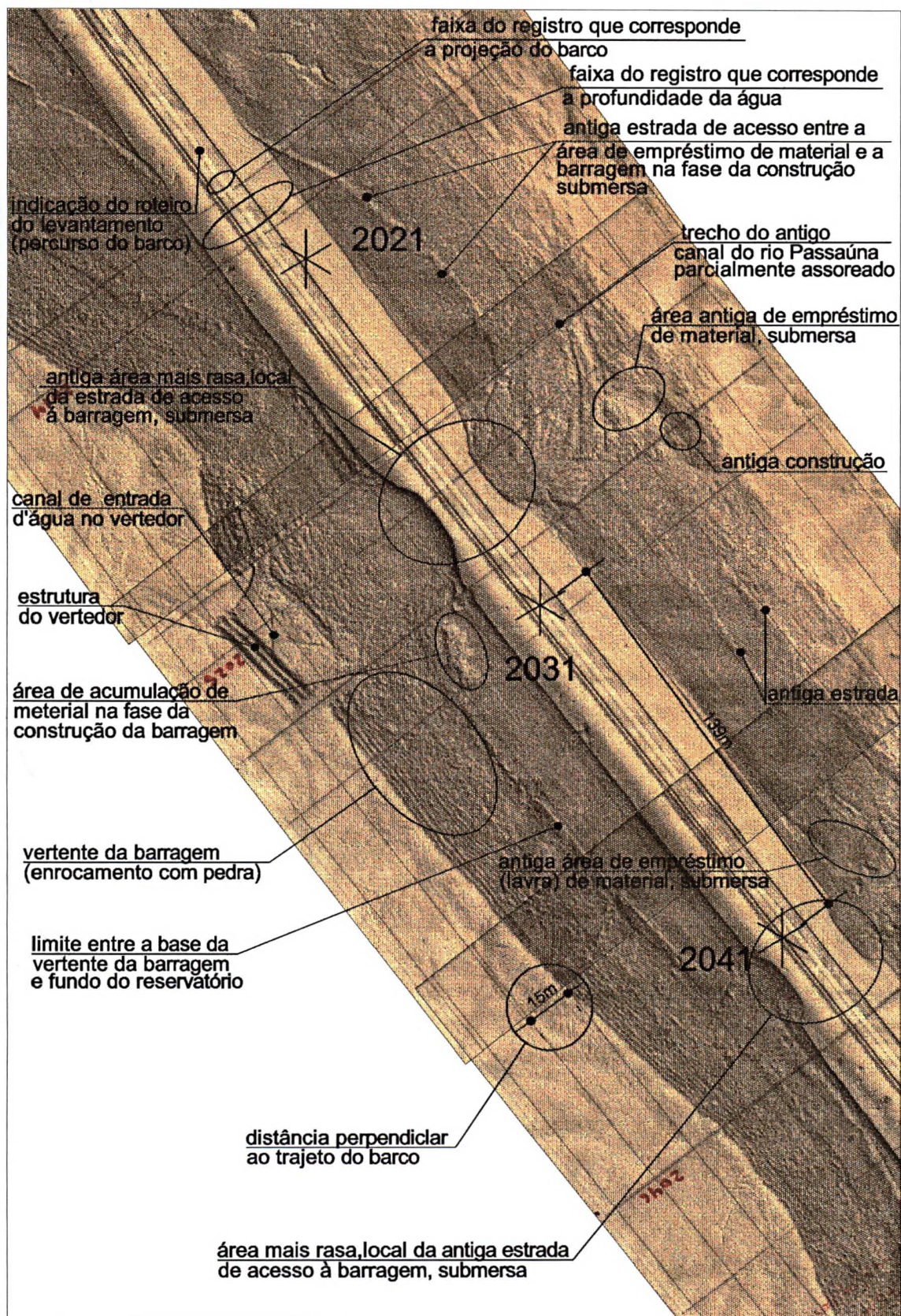
Apêndice 5.5 - Interpretação da imagem de sonografia do trecho próximo as estações 1861 e 1891.





Apêndice 5.6 - Interpretação da imagem de sonografia do trecho próximo das estações 1946 e 1971.





Apêndice 5.7 - Interpretação da imagem de sonografia do trecho próximo das estações 2011 e 2041, o montante da barragem.